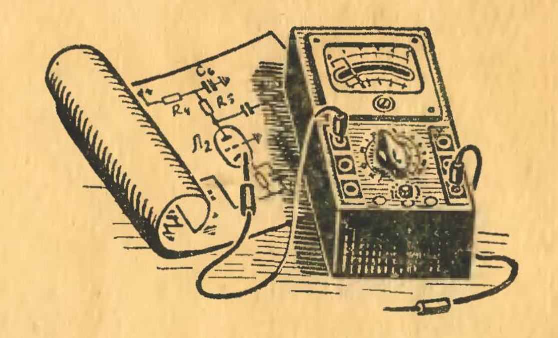
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

ИЗМЕРЕНИЯ В ПРАКТИКЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 340

А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

ИЗМЕРЕНИЯ В ПРАКТИКЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Джигит И. С., Канаева А. М., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

В книге, рассчитанной на широкий круг радиолюбителей, рассказывается об измерениях, встречающихся при налаживании и испытании усилителей низкой частоты, магнитофонов, радиоприемников и телевизоров.

Автор — *Анатолий Георгиевич Соболевский*

ИЗМЕРЕНИЯ В ПРАКТИКЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

* * *

Редактор — *В. В. Енютин* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 26/III 1959 г. Подписано к печати 21/V 1959 г.
Формат бумаги 84×108 1/32 5,74 п. л. 7,5 уч.-изд. л.
Т-06410 Тираж 75000. Цена 3 руб. Заказ 169

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В наше время, когда радиоаппаратура стала очень сложной, без применения измерительных приборов не только невозможно создание новых конструкций, но в большинстве случаев нельзя даже хорошо наладить обычный любительский радиоприемник.

Правда, и сейчас еще есть радиолюбители, которые налаживают, например, приемники без измерительной аппаратуры. Но для этого нужны большой опыт и очень много времени. Такое налаживание похоже на поиски с завязанными глазами, и конечно, налаженный таким методом радиоприемник, как правило, не реализует всех возможностей, заложенных в его схеме.

Необходимость измерений вызывается прежде всего тем, что мы не можем дать многим явлениям количественную оценку. Так, можно определить на глаз и при том довольно точно, что одна проволока толще другой, но нельзя сказать на сколько. Одному эта разница будет казаться значительной, другому — незначительной. Поэтому для количественной оценки какой-либо величины ее нужно сравнить с условным, но постоянным эталоном — постоянной единицей величины (единицей измерения). Это сравнение и есть измерение данной величины.

Сравнение измеряемой величины с единицей измерения производится при помощи измерительных приборов, которые в свою очередь сравниваются с эталоном — градуируются по нему.

Измерить какую-либо величину с абсолютной точностью невозможно, т. е. принципиально нельзя утверждать, что данная величина абсолютно точно равна принятому эталону, так как всякий материальный эталон сам по себе никогда не бывает абсолютно неизменным; это же относится и к измеряемой величине. Кроме того, всякое измерение есть сравнение данной величины с эталоном, а сравнение никогда не может быть выполнено с абсолютной точностью.

Поэтому измерение всегда производится лишь с определенной точностью, определенным приближением.

Точность измерений определяется в основном точностью и неизменностью градуировки измерительных приборов. По степени точности вольтметры, амперметры, омметры и некоторые другие измерительные приборы делятся на семь классов точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0. Цифры, обозначающие классы, показывают, какую погрешность допускает данный прибор в процентах номинального значения шкалы (предела измерения на данной шкале). Например, при пользовании вольтметром класса 1,0 возможная ошибка измерения на шкале 300 *в* составляет:

$$300 \cdot 0{,}01 = \pm 3 \text{ в}.$$

Эта погрешность не зависит от величины измеряемого напряжения. Если тем же вольтметром и на той же шкале измерять напряжения 10 и 200 *в*, то в первом случае абсолютная ошибка в 3 *в* составит 30% измеряемой величины, а во втором — всего 1,5%. Поэтому лучше выбирать такую шкалу прибора или такой предел измерения, при котором стрелка прибора будет отклоняться как можно больше.

Иногда точность измерения прибором обозначается в процентах измеряемой величины плюс-минус погрешность, выраженная в абсолютных единицах (например, ±2% ±5 *мкгн*). Это делается для того, чтобы более точно показать величину погрешности прибора в зависимости от измеряемой величины. Так, при измерении больших величин, когда процентная ошибка велика, погрешность прибора определяется главным образом этой процентной ошибкой. При измерении же малых величин процентная ошибка меньше второй части допуска погрешности, и поэтому погрешность прибора определяется в основном той частью погрешности, которая выражена в единицах измеряемой величины.

Ошибки при измерениях могут возникать и из-за неправильного отсчета, паразитных наводок при высокочастотных измерениях и. т. п. В радиолюбительских условиях в большинстве случаев точность измерения порядка 5—10% вполне достаточна. Лишь при измерении частоты желательна точность порядка 1% и выше. Вообще же не следует стремиться измерить какую-либо величину с большей точностью, чем это необходимо для выяснения ее влияния на режим работы радиоаппарата и т. п. Повышение точности измерения требует применения более сложных и до-

рогих измерительных приборов, а также большей затраты времени.

В данной книге рассказывается об измерениях, часто встречающихся в практике радиолюбителей при сборке, налаживании и испытании низкочастотных усилительных устройств, радиоприемников и телевизоров. Рассказывается только о методах измерений, практическом исследовании работы радиоустройств. Принцип действия измерительных приборов, их устройство, обращение с ними и градуировка в книге не рассматриваются; об этом можно прочесть в специальных книгах, справочниках, инструкциях.

При описании методики измерений, чтобы уточнить, каким должен быть измерительный прибор по типу и классу точности, даются ссылки на измерительные приборы промышленного изготовления. Однако это не означает, что измерения можно производить только при помощи этих приборов. Вместо указанного в книге прибора промышленного изготовления радиолюбитель может применять другой прибор, в том числе и самодельный, но того же типа и класса точности. Чтобы можно было сравнить имеющийся у радиолюбителя измерительный прибор с прибором, рекомендованным в книге, в приложении 4 (см. стр. 109) приведены основные данные некоторых измерительных приборов промышленного изготовления.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ИЗМЕРЕНИЯ В ЦЕПЯХ РАДИОАППАРАТУРЫ

1. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

Измерение постоянного тока. Чтобы измерить ток, проходящий по цепи, измерительный прибор включают в разрыв этой цепи, т. е. последовательно.

На рис. 1 показано включение приборов для измерения тока в разных участках сложной цепи. Прибор A_1 измеряет ток, проходящий через сопротивление R_1, прибор A_2 — через сопротивление R_2, а прибор A_3 — общий ток, проходящий через сопротивления R_1 и R_2. При включении приборов их внутреннее сопротивление оказывает влияние на величину измеряемого тока. Это влияние сказывается в уменьшении величины тока, так как включение прибора увеличивает общее сопротивление цепи. Например, до включения прибора A_3 общее сопротивление цепи, изображенной на рис. 1, было $R_{общ}=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$ (не учитывая внутреннего сопротивления приборов A_1 и A_2), а после включения прибора A_3

$$R'_{общ}=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}+R_{вн}=R_{общ}+R_{вн},$$

где $R_{вн}$ — внутреннее сопротивление прибора A_3.

Поэтому если до включения прибора A_3 в цепи проходил ток $I_{общ}=\frac{U}{R_{общ}}$, то после включения прибора в цепи пройдет ток $I'_{общ}=\frac{U}{R'_{общ}}$. Из приведенных выражений видно, что ток $I'_{общ}$, который будет отмечен прибором, заведомо меньше тока $I_{общ}$. При этом разница между действительной и измеренной величинами тока, т. е. ошибка измерения,

будет тем больше, чем больше внутреннее сопротивление $R_{вн}$ прибора. Желательно, чтобы $R_{вн}$ составляло не более 2—3% от $R_{общ}$.

Для измерения постоянного тока в радиолюбительской практике чаще всего применяются приборы магнитоэлектрической системы: амперметры или миллиамперметры, в зависимости от величины измеряемого тока.

При необходимости измерять токи, превышающие ток полного отклонения стрелки прибора, последний шунтируют

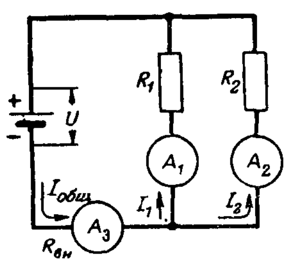


Рис. 1. Схема включения приборов для измерения тока.

Рис. 2. Схема включения шунта для расширения пределов измерений прибора по току.

внешним сопротивлением $R_ш$ (рис. 2). В этом случае через прибор *А* проходит часть общего тока цепи. Если сопротивление шунта $R_ш$ подобрано так, что через него проходит, например, 0,9 общего тока $I_{общ}$, то через прибор пройдет 0,1 общего тока, т. е. показания прибора будут в 10 раз меньше действительной величины тока в общей цепи. Таким образом, прибором на 1 *ма* можно измерять ток до 10 *ма*. Если же подобрать сопротивление шунта так, чтобы через него проходило 0,99 общего тока в цепи, то предел измерений прибора расширится до 100 *ма*, и т. д. Необходимое сопротивление шунта можно определить по формуле

$$R_ш = R_{вн} \frac{I_п}{I_{макс} - I_п},$$

где $R_{вн}$ — внутреннее сопротивление прибора, *ом*;

$I_п$ — ток полного отклонения стрелки прибора без шунта, *ма*;

$I_{макс}$ — наибольший ток, который должен быть измерен, *ма*.

Прибор с несколькими шунтами (или универсальным шунтом с отводами) дает возможность измерять токи в ши-

роких пределах. Примером таких многопредельных приборов могут служить ампервольтомметры АВО-5М, ТТ-1 и ТТ-2.

Измерение постоянного напряжения. Чтобы измерить напряжение, действующее в цепи, измерительный прибор подключают параллельно этой цепи. На рис. 3 показано включение приборов для измерения напряжений на различных участках цепи. Прибор V_1 измеряет напряжение на сопротивлении R_1, прибор V_2 — на сопротивлении R_2, а прибор V_3 — общее напряжение на сопротивлениях R_1 и R_2.

Параллельное подключение прибора шунтирует измеряемый участок цепи, т. е. уменьшает его сопротивление.

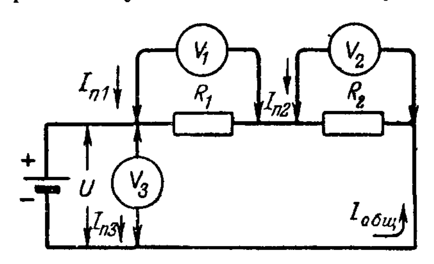


Рис. 3. Схема включения приборов для измерения напряжений.

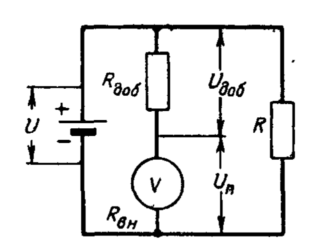


Рис. 4. Схема включения добавочного сопротивления для расширения пределов измерений прибора по напряжению.

А так как величина напряжения на участке цепи определяется сопротивлением этого участка, то подключение прибора приводит к уменьшению напряжения на измеряемом участке. Поэтому прибор покажет меньшее напряжение, чем было до его подключения. Погрешность будет тем большей, чем меньше внутреннее сопротивление прибора.

Обычно для измерения постоянного напряжения применяют вольтметры магнитоэлектрической системы. Их входное сопротивление характеризуется числом ом, приходящихся на 1 *в* шкалы (*ом/в*). Чтобы производить измерения, погрешность которых не превышает 10%, вольтметр должен обладать сопротивлением не менее 20 000 *ом/в* (АВО-5М).

Еще бóльшим входным сопротивлением обладают ламповые вольтметры (10 *Мом* и выше). Подключение их к цепям постоянного тока практически не изменяет режима этих цепей. Примером таких измерительных приборов может служить универсальный ламповый вольтметр ВЛУ-2.

Совсем не имеют сопротивления вольтметры электростатической системы, но они применяются редко.

Наибольшее напряжение, при котором стрелка чувствительного магнитоэлектрического прибора отклоняется на всю шкалу, не превышает долей вольта. Чтобы таким прибором измерять напряжения в десятки и сотни вольт, последовательно с ним включают добавочное сопротивление $R_{доб}$ (рис. 4). В этом случае бо́льшая часть измеряемого напряжения падает на сопротивлении $R_{доб}$, а меньшая — на приборе. Величину добавочного сопротивления можно подсчитать по формуле

$$R_{доб} = \frac{1\,000 U_{макс}}{I_п} - R_{вн},$$

где $U_{макс}$ — наибольшее напряжение, которое должно быть измерено прибором с добавочным сопротивлением, *в*;

$I_п$ — ток полного отклонения стрелки прибора, *ма*;

$R_{вн}$ — внутреннее сопротивление прибора, *ом*.

Чем чувствительнее прибор (чем меньше $I_п$), тем больше сопротивление $R_{доб}$ и входное сопротивление вольтметра.

Многопредельные вольтметры содержат несколько добавочных сопротивлений, подключаемых в зависимости от нужного предела измерений. Примером таких вольтметров могут служить универсальные (комбинированные) приборы АВО-5М, ТТ-1 и ТТ-2.

Достаточно точно можно измерить напряжение в высокоомных цепях и низкоомным вольтметром, если применить следующий метод. Производят два замера определяемого напряжения низкоомным вольтметром на разных шкалах. Если вольтметр однопредельный, то к нему при первом измерении подключают сопротивление, превращая его в двухпредельный. Сначала измеряют определяемое напряжение на большей шкале, затем — на меньшей. Так как при переходе на меньшую шкалу входное сопротивление уменьшается и сильнее шунтирует измеряемую цепь, то напряжение в этой цепи также уменьшается. В результате вольтметр на меньшей шкале показывает меньшее напряжение.

Действительное напряжение между точками подключения вольтметра определяется по формуле

$$U=\frac{(k-1)U_1}{k-\frac{U_1}{U_2}},$$

где $k=\frac{U_{\text{пред.б.шк}}}{U_{\text{пред.м.шк}}}$ — отношение предела измерения на большей шкале к пределу измерения на меньшей шкале;

U_1 — показание вольтметра на большей шкале, *в*;

U_2 — показание вольтметра на меньшей шкале, *в*.

При измерении таким способом предполагается, что при изменении тока, проходящего через измеряемую цепь, сопротивления в ней остаются постоянным. Однако это условие выполняется не всегда. Например, если измеряется напряжение на аноде лампы, на сетку которой подано фиксированное напряжение смещения, то сопротивление лампы постоянному току зависит от напряжения на аноде. Поэтому описанным методом измерять напряжение на электродах можно лишь в схемах с автоматическим смещением, когда сопротивление лампы постоянному току остается неизменным при изменении напряжения на ее аноде.

Измерение переменных токов и напряжений. При измерении переменных токов и напряжений высокой частоты возникают частотные погрешности. Чтобы уяснить причину их возникновения, рассмотрим эквивалентные схемы измерительных приборов (рис. 5). Ток высокой частоты проходит не только через обмотку рамки прибора, но и через емкость C_3 между токоподводящими проводами, а также ответвляется на «землю» через паразитные емкости C_1 и C_2 (происходит шунтирование измеряемой цепи на «землю»). Кроме того, на показания прибора влияют индуктивности подводящих проводов $L_в$.

Сопротивление прибора на высоких частотах состоит для приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, тепловой и термоэлектрической систем из активного сопротивления $R_п$ и индуктивности $L_п$ (рис. 5,*а*), а для приборов электростатической, детекторной и электронной систем — из параллельно соединенных сопротивления $R_{вх}$ и емкости $C_п$ (рис. 5,*б*). Поэтому полное сопротивление прибора, а также

степень шунтирования измеряемой цепи емкостями C_1 и C_2 зависят от частоты измеряемого тока; отсюда и показания прибора зависят от частоты измеряемого тока (напряжения). Чтобы погрешность была возможно меньшей, емкости и индуктивности в приборе должны быть малыми.

Включать прибор переменного тока в измеряемую цепь надо так, чтобы потенциал точки подключения прибора был как можно ближе к потенциалу «земли», а еще лучше если один из щупов прибора будет заземлен (рис. 6).

При подключении приборов к колебательному контуру последний оказывается шунтированным паразитными ем-

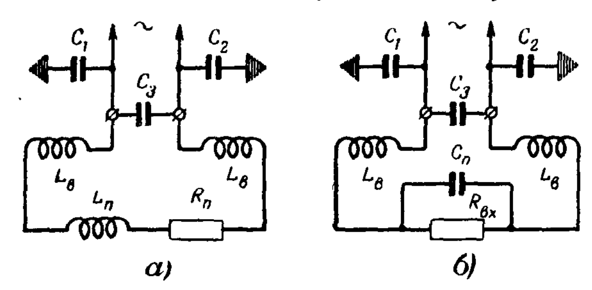


Рис. 5. Эквивалентные схемы измерительных приборов при измерении токов высокой частоты

а — магнитоэлектрической, электромагнитной, тепловой и термоэлектрической систем; *б* — электростатической, детекторной и электронной систем.

костями C_1, C_2 и C_3 (рис. 5). Это вызывает расстройку контура, снижает его добротность.

Для измерения переменных токов пользуются приборами детекторной, тепловой и термоэлектрической систем. Приборами детекторной системы можно измерять токи от долей миллиампера, но на частотах не свыше 5—10 *кгц*. Наиболее пригодными для измерения на радиочастотах являются приборы термоэлектрической системы. Они обладают высокой чувствительностью и могут применяться на частотах до сотен мегагерц.

Расширение пределов измерений амперметров, работающих на радиочастотах, затруднено тем, что сопротивление шунта с изменением частоты должно изменяться одинаково с сопротивлением прибора, иначе показания последнего будут зависеть от частоты. Это требование существенно усложняет конструкцию шунта. Поэтому на высоких частотах обычно применяются емкостные делители тока (рис. 7). Сопротивление конденсатора $C_{пос}$ на самой высо-

кой измеряемой частоте должно намного (в 7—10 раз) превосходить сопротивление прибора на этой же частоте:

$$(7 \div 10)\frac{10^9}{2\pi f_{\text{макс}} C_{\text{пос}}} \geqslant R_{\text{п}},$$

где $f_{\text{макс}}$ — наивысшая частота, на которой должен работать прибор, *кгц*;

$C_{\text{пос}}$ — емкость конденсатора, *пф*;

$R_{\text{п}}$ — сопротивление прибора, *ом*.

При соблюдении этого условия на более низких частотах перераспределение тока между емкостным шунтом $C_{\text{ш}}$ и

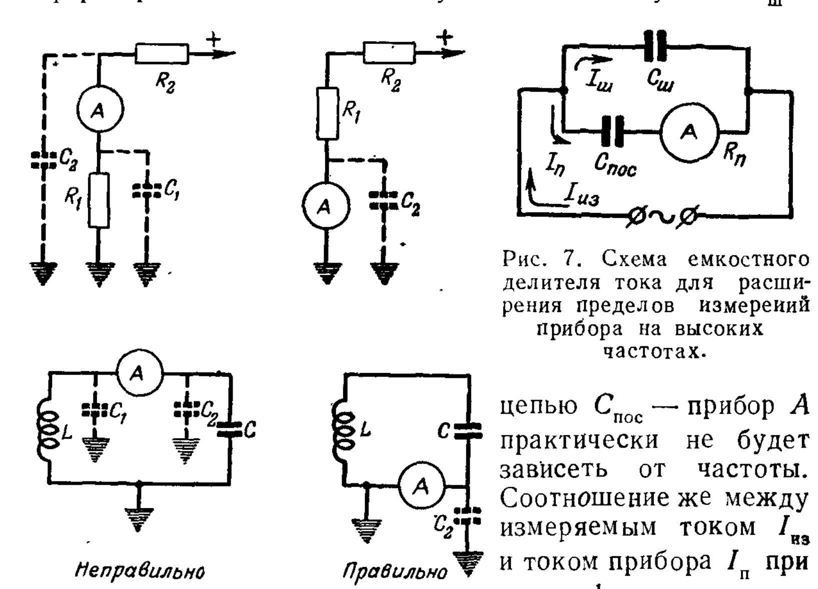


Рис. 7. Схема емкостного делителя тока для расширения пределов измерений прибора на высоких частотах.

Рис. 6. Неправильное и правильное включение приборов при измерении на высоких частотах.

цепью $C_{\text{пос}}$ — прибор A практически не будет зависеть от частоты. Соотношение же между измеряемым током $I_{\text{из}}$ и током прибора $I_{\text{п}}$ при $R_A \ll \frac{1}{\omega C_{\text{ш}}}$ имеет вид:

$$K \approx 1 + \frac{C_{\text{ш}}}{C_{\text{пос}}}.$$

Для измерения переменного напряжения на частотах до 5—10 *кгц* можно использовать приборы детекторной системы. Примером таких приборов является ИВ-4 и АВО-5М. Детекторные приборы имеют хорошую чувствительность и входное сопротивление до 20 000 *ом/в*. Наиболее же универсальными приборами для измерения напряжения на звуковых и радиочастотах являются ламповые

вольтметры. Они могут измерять напряжения от долей вольта до сотен вольт с частотой до сотен мегагерц. Примерами таких приборов могут служить ламповые вольтметры типов ВКС-7Б, ЛВ-9-2 и ВЛУ-2.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В РАДИОАППАРАТУРЕ

В большинстве случаев в радиоаппаратуре приходится измерять только постоянный ток, реже — ток звуковой частоты и лишь в исключительных случаях — токи радиочастоты. Для измерения токов удобнее всего пользоваться многопредельным прибором с пределами измерений от долей миллиампера до 1—2 *а*.

Измерение постоянного тока в радиоаппаратуре осложнено тем, что во многих цепях наряду с постоянной составляющей тока присутствует и переменная составляющая. Чтобы измерить только постоянную составляющую, прибор должен включаться таким образом, чтобы через него проходила только эта составляющая. Например, в схеме на рис. 8 для измерения постоянной составляющей анодного тока лампы 6А7 прибор A_1 надо включить между развязывающим конденсатором и положительным полюсом анодного напряжения. В этом случае переменная составляющая анодного тока через развязывающий конденсатор пройдет на корпус, минуя прибор. Неправильным было бы включение прибора между анодом лампы и контуром фильтра промежуточной частоты или между этим контуром и развязывающим конденсатором, так как в этом случае через прибор проходила бы и переменная составляющая анодного тока лампы. Такое включение недопустимо не только для прибора тепловой или термоэлектрической системы, но и для миллиамперметра магнитоэлектрической системы, хотя этот прибор и не реагирует на переменный ток. Благодаря паразитным емкостям прибора и соединительных проводов переменная составляющая анодной цепи воздействовала бы на сеточную цепь лампы, что привело бы к самовозбуждению каскада и, следовательно, к изменению анодного тока лампы.

Если постоянную составляющую тока приходится измерять в цепи, где имеется и переменная составляющая, например в анодной цепи лампы 6Ж8, то прибор A_8 надо шунтировать конденсатором емкостью порядка 0,1 *мкф* непосредственно на корпус. Если для предотвращения самовозбуждения этого окажется недостаточно, следует шунтировать на корпус и управляющую сетку лампы конден-

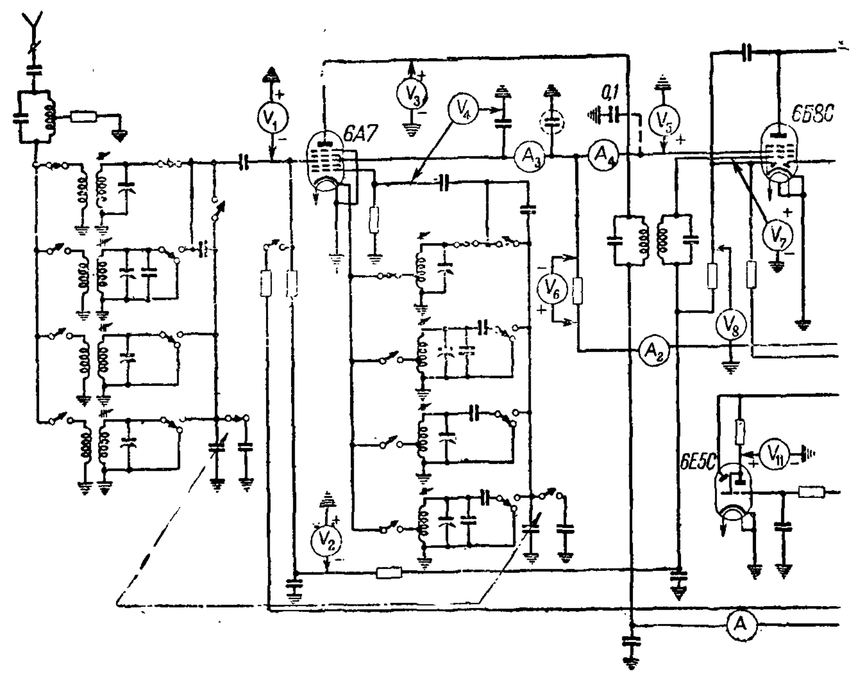
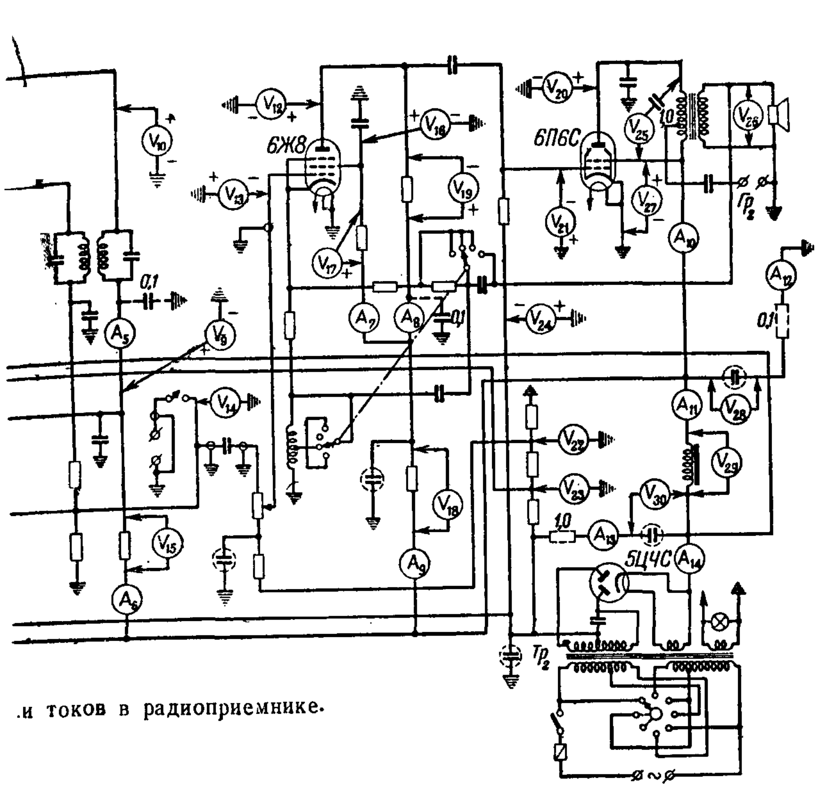


Рис. 8. Примеры измерений напряжений

V_1 — измерение напряжения смещения на управляющей сетке лампы 6А7 ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 5—50 *в*; V_2 — измерение напряжения АРУ на управляющей сетке лампы 6А7 ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 5 — 50 *в*; V_3 — измерение напряжения на аноде лампы 6А7 вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_4 — измерение напряжения на управляющей сетке гетеродинной части лампы 6А7 ламповым вольтметром переменного тока со шкалой 50—100 *в*; V_5 — измерение напряжения на экранирующих сетках ламп 6А7 и 6Б8С вольтметром со шкалой 150 *в* и сопротивлением 1 000—5 000 *ом/в*; V_6 — измерение падения напряжения на сопротивлении в цепи экранирующих сеток ламп 6А7 и 6Б8С вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 1 000—5 000 *ом/в*; V_7 — измерение напряжения смещения на управляющей сетке лампы 6Б8С ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 5—50 *в*; V_8 — измерение напряжения задержки на диоде АРУ ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 3 *в*; V_9 — измерение напряжения на светящемся экране лампы 6Е5С вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{10} — измерение напряжения на аноде лампы 6Б8С вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{11} — измерение напряжения на аноде лампы 6Е5С ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 100—300 *в*; V_{12} —измерение напряжения на аноде лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 150 *в* и сопротивлением 15 000—20 000 *ом/в*; V_{13} — измерение напряжения на управляющей сетке лампы 6Ж8 ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 5 *в*; V_{14} — измерение напряжения звуковой частоты на выходе детектора ламповым вольтметром переменного тока со шкалой 5 — 50*в*; V_{15} — измерение падения напряжения на сопротивлении в цепи анода лампы 6Б8С вольтметром со шкалой 100—300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{16} — измерение напряжения на экранирующей сетке лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 100—300 *в* и сопротивлением 5 000—10 000 *ом/в*; V_{17} — измерение падения напряжения на сопротивлении в цепи экранирующей сетки лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 100—300 *в* и сопротивлением 5 000—10 000 *ом/в*; V_{18} — измерение падения напряжения на сопротивлении в цепях анода и экранирующей сетки лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 100 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{19} — измерение падения напряжения на сопротивлении анодной нагрузки лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 100—300 *в* и сопротивлением 10 000—20 000 *ом/в*; V_{20} — измерение напряжения на аноде лампы 6П6С вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500— 1 000 *ом/в*; V_{21} — измерение напряжения смещения на управляющей сетке лампы 6П6С ламповым вольтметром постоянного тока со шкалой 30—50 *в*; V_{22} — измерение напряжения смещения



.и токов в радиоприемнике.

на сетке лампы 6Ж8 вольтметром со шкалой 3 — 5 *в* и сопротивлением 100 *ом/в*; V_{23} — измерение напряжения задержки АРУ вольтметром со шкалой 3—5 *в* и сопротивлением 100 *ом/в*; V_{24} — измерение напряжения смещения на сетке лампы 6П6С вольтметром со шкалой 30 *в* и сопротивлением 100 *ом/в*; V_{25} — измерение напряжения звуковой частоты на первичной обмотке выходного трансформатора вольтметром переменного тока со шкалой 50—100 *в*; V_{26} — измерение напряжения на вторичной обмотке выходного трансформатора вольтметром переменного тока со шкалой 1,5—3 *в*; V_{27} — измерение напряжения на экранирующей сетке лампы 6П6С вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{28} — измерение напряжения на выходном конденсаторе фильтра выпрямителя вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; V_{29} — измерение падения напряжения на дросселе фильтра выпрямителя вольтметром со шкалой 50—100 *в* и сопротивлением 200 *ом/в*; V_{30} — измерение напряжения на первом конденсаторе фильтра выпрямителя вольтметром со шкалой 300 *в* и сопротивлением 500—1 000 *ом/в*; A_1 — измерение тока в цепи анода лампы 6А7 миллиамперметром со шкалой 5—10 *ма*; A_2 — измерение тока экранирующих сеток ламп 6А7 и 6Б8С миллиамперметром со шкалой 10—15 *ма*; A_3 — измерение тока экранирующей сетки лампы 6А7 миллиамперметром; A_4 — измерение тока экранирующей сетки лампы 6Б8С миллиамперметром со шкалой 5 *ма*; A_5 — измерение анодного тока лампы 6Б8С миллиамперметром со шкалой 10—15 *ма*: A_6 — измерение анодного тока лампы 6Б8С и 6Е5С миллиамперметром со шкалой 10—15 *ма*; A_7 —измерение тока экранирующей сетки лампы 6Ж8 миллиамперметром со шкалой 1—3 *ма*: A_8 — измерение анодного тока лампы 6Ж8 миллиамперметром со шкалой 3—5 *ма*; A_9 — измерение тока анода и экранирующей сетки лампы 6Ж8 миллиамперметром со шкалой 5—10 *ма*; A_{10} — измерение тока анода и экранирующей сетки лампы 6П6С миллиамперметром со шкалой 50—100 *ма*; A_{11} — измерение суммы анодных токов ламп 6А7, 6Б8С, и 6Е5С, анодного и экранного токов ламп 6Ж8 и 6П6С миллиамперметром со шкалой 50—100 *ма*; A_{12} — измерение тока утечки электролитического конденсатора миллиамперметром со шкалой 0,1—0,3 *ма*; A_{13} — измерение тока утечки электролитического конденсатора миллиамперметром со шкалой 0,1—0,3 *ма*; A_{14}—измерение общего тока, потребляемого анодными и экранными цепями ламп, миллиамперметром со шкалой 50—100 *ма*.

сатором емкостью порядка 0,01 *мкф*. Обнаружить самовозбуждение можно по изменению показаний прибора при изменении положения подводящих проводов, поднесении руки к сеточным цепям каскада и т. п.

При измерении напряжений в радиоаппаратуре большую роль играет входное сопротивление вольтметра. Измерение следует производить вольтметром с возможно бóльшим добавочным сопротивлением. Лучше всего пользоваться ламповыми вольтметрами, входное сопротивление которых очень велико и одинаково на всех шкалах.

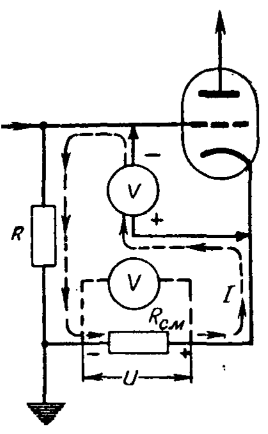


Рис. 9. Схема измерения напряжения смещения на управляющей сетке лампы.

Диапазон измеряемых напряжений в радиоапаратуре начинается от долей вольта и редко превышает 500 *в*. Наиболее удобны для измерения напряжений приборы типов ТТ-1, ТТ-2, АВО-5М и ИВ-4 и ламповые вольтметры ВКС-7Б, ЛВ-9-2 и ВЛУ-2.

При измерении магнитоэлектрическим вольтметром напряжения на электродах ламп, например между анодом и катодом, надо иметь в виду, что через сопротивление нагрузки будет протекать не только анодный ток лампы, но и ток, потребляемый прибором. Это приведет к увеличению падения напряжения на нагрузке и, следовательно, к уменьшению напряжения на аноде лампы. В результате показание прибора будет занижено и тем больше, чем меньше входное сопротивление прибора.

Измерять напряжение смещения и напряжение АРУ непосредственно на сетке лампы нельзя даже очень чувствительным магнитоэлектрическим вольтметром (например, АВО-5М), так как эти напряжения подаются через цепи с очень большими сопротивлениями.

На рис. 9 показана схема подачи напряжения смещения на сетку лампы. Если включить вольтметр непосредственно между сеткой и катодом, то ток I пройдет по цепи вольтметр — сопротивления R и $R_{см}$. Сопротивление R обычно не менее 1 *Мом*, поэтому входное сопротивление даже чувствительного магнитоэлектрического вольтметра будет равно в лучшем случае половине общего сопротивления

цепи (сопротивление $R_{см}$ обычно мало и его можно не учитывать). Следовательно, ошибка при измерении составит не менее 50%.

Измерять такие напряжения магнитоэлектрическим вольтметром следует на сопротивлении $R_{см}$, с которого снимается напряжение смещения. Величина этого сопротивления обычно порядка сотен ом, поэтому напряжение смещения на нем с достаточной точностью может быть измерено даже низкоомным вольтметром.

Измерять напряжение смещения, напряжения АРУ и другие напряжения, подводимые через цепи с большими сопротивлениями, непосредственно на электродах ламп можно только ламповым вольтметром.

При измерении напряжений на электродах ламп относительно корпуса радиоаппарата («земли») вольтметр покажет действующее напряжение на электроде лампы только в том случае, если катод лампы соединен непосредственно с корпусом. Если же между катодом и корпусом включено сопротивление автоматического смещения, то показания вольтметра будут завышены на величину напряжения смещения.

Сказанное выше о наличии в цепях радиоаппаратуры постоянной и переменной составляющих тока следует учитывать и при измерении напряжений. Если в цепи содержится, кроме переменной, и постоянная составляющая, то вольтметр переменного тока включается через конденсатор, реактивное сопротивление которого на данной частоте много меньше входного сопротивления вольтметра:

$$\frac{10^9}{2\pi fC} \ll R_в,$$

где f — частота, на которой производится измерение, *кгц*;
C — емкость конденсатора, *пф*;
$R_в$ — сопротивление вольтметра, *ом*.

Отметим, что иногда переменное напряжение, а также переменный ток удобнее измерять при помощи электронно-лучевого осциллографа, о чем будет сказано в § 3.

Измерять ток в цепях радиоаппаратуры можно не только амперметром, но и вольтметром. Это особенно удобно, если почему-либо нежелательно разрывать цепь для включения амперметра. В этом случае измеряется падение напряжения на сопротивлении, по которому проходит изме-

2*

ряемый ток. Если величина сопротивления известна (или специально для этого измерена — см. § 6), то искомый ток определится по формуле

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — ток, *ма*;
U — показание вольтметра, *в*;
R — сопротивление, падение напряжения на котором измерялось вольтметром, *ком*.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

При помощи стрелочных измерительных приборов можно определить только среднее, действующее или пиковое значение переменного тока или напряжения, причем градуировка приборов обычно производится для синусоидального тока. Поэтому показания стрелочных приборов не дают представления о законе изменения тока или напряжения; этими приборами нельзя определить мгновенное значение исследуемого тока или напряжения. В ряде же случаев необходимо определить этот закон: просмотреть форму изменения тока или напряжения во времени, например форму тока в отклоняющих катушках телевизионной трубки, проверить линейность изменения этого тока. Бывает необходимо выяснить, насколько исследуемый ток отличается по форме от синусоидального, т. е. установить содержание высших гармоник — определить коэффициент нелинейных искажений.

Особенно необходимо определение формы тока и напряжения при импульсном характере их изменения. В этом случае показания обычных стрелочных приборов вообще не могут дать представления об исследуемых импульсах, так как их показания будут зависеть не только от формы импульсов, но и от частоты их следования, коэффициента заполнения и пр.

Наблюдать форму тока или напряжения можно при помощи электронно-лучевого осциллографа[1]. Положение светящегося пятна на экране электронно-лучевой трубки определяется напряжениями, приложенными к системе отклоняющих пластин. Обычно исследуемое напряжение

[1] Существуют еще шлейфовые (механические) осциллографы, но верхние частоты, исследуемые такими осциллографами, не превышают 10 *кгц*, поэтому в радиотехнических измерениях они ие применяются.

подается на вертикально отклоняющие пластины. Поэтому светящееся пятно на экране трубки перемещается вертикально в соответствии с изменением исследуемого напряжения. Если включить генератор развертки осциллографа, то светящееся пятно будет перемещаться и горизонтально, причем это перемещение равномерно во времени. Светящийся же след суммарного перемещения пятна представит собой кривую изменения исследуемого напряжения во времени. Из этой кривой можно определить закон изменения исследуемого напряжения, просмотреть его форму, а также определить мгновенные значения напряжения.

Отклонение луча в осциллографических трубках обычно не превышает 0,4 *мм* на 1 *в* отклоняющего напряжения. Поэтому если исследуемое напряжение меньше 20—30 *в*, то его приходится подавать на отклоняющие пластины через усилитель осциллографа.

Для получения количественных данных об исследуемом напряжении осциллограф должен быть проградуирован. Для этого на входные зажимы осциллографа подается переменное напряжение известной величины. Ручка регулировки усиления ставится в определенное положение, и производится измерение величины отклонения пятна на экране. Затем изменяют величину эталонного напряжения и снова измеряют величину отклонения пятна на экране и т. д. Результаты измерений наносят на график или непосредственно на масштабную сетку (рис. 10).

Получение осциллограммы напряжения, которая бы с достаточной достоверностью отражала исследуемое напряжение или процесс, возможно лишь при соблюдении следующих условий.

Во-первых, так как частотная характеристика усилителя осциллографа прямолинейна лишь в каком-то диапазоне частот, то получение неискаженных осциллограмм возможно лишь в этом диапазоне. Если на вход осциллографа подано несинусоидальное напряжение, то будут искажены его верхние гармоники, частоты которых лежат выше верхней граничной частоты усилителя. В этом случае для уменьшения искажений желательно исследуемое напряжение (если оно достаточной величины) подавать непосредственно на отклоняющие пластины трубки.

Второе условие заключается в том, что входное сопротивление осциллографа должно быть значительно больше внутреннего сопротивления источника исследуемого напряжения или, что то же, сопротивления, падение напряжения

на котором подлежит исследованию или измерению. При измерении постоянного или относительно медленно изменяющегося напряжения (переменного напряжения низкой частоты) это условие всегда выполнимо. При осциллографировании же высокочастотных напряжений существенную роль начинают играть входные емкости усилителя или отклоняющих пластин (при непосредственной подаче на них исследуемого напряжения), а также емкость проводов, связывающих вход осциллографа с исследуемой цепью. Емко-

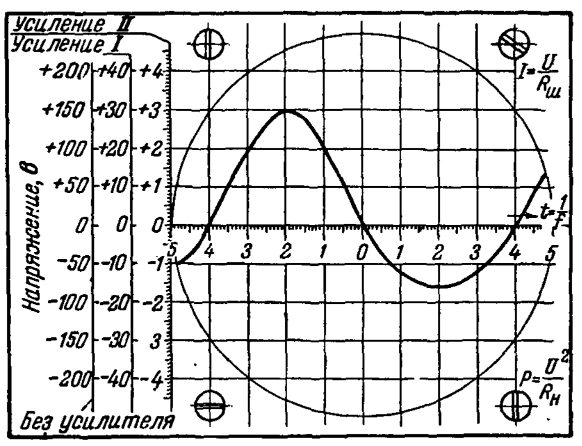


Рис. 10. Градуированная масштабиая сетка, устанавливаемая перед экраном осциллографа.

сти эти шунтируют внутреннее сопротивление источника исследуемого напряжения и вызывают изменения величины и формы этого напряжения.

Чтобы избежать влияния входной емкости осциллографа на исследуемую цепь, его соединяют с ней через катодный повторитель, входное сопротивление которого велико. Выходное же сопротивление катодного повторителя незначительно, и по сравнению с ним вход осциллографа высокоомен даже при высокой частоте исследуемого напряжения.

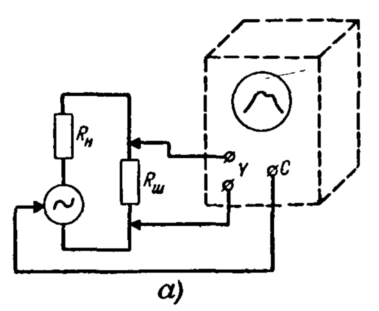
Так как осциллограф с электростатической трубкой может иследовать и измерять только напряжение, то для осциллографирования тока необходимо перевести ток в пропорциональное ему напряжение. Это достигается включением последовательно в цепь, ток в которой надо осциллографировать, сопротивления, на котором создается падение

напряжения, пропорциональное току, протекающему через это сопротивление. Если параллельно сопротивлению присоединить осциллограф, то осциллограмма падения напряжения на этом сопротивлении отразит величину и характер тока в исследуемой цепи (рис. 11).

Определяя на экране трубки величину напряжения U и зная величину сопротивления $R_ш$, можно определить ток в цепи в любой момент времени по формуле

$$I = \frac{U}{R_ш}.$$

Формула эта верна только для измерений на низких частотах. При осциллографировании токов высокой частоты необходимо иметь в виду следующее. Изготовить чисто активное сопротивление $R_ш$ невозможно, так как даже прямой отрезок провода на высоких частотах обладает некоторой индуктивностью. Поэтому сопротивление всегда имеет активную R и индуктивную R_L составляющие. При прохождении переменного тока падение напряжения на сопротивлении складывается из падения напряжения на этих составляющих, причем падение напряжения на R_L тем больше, чем выше частота.



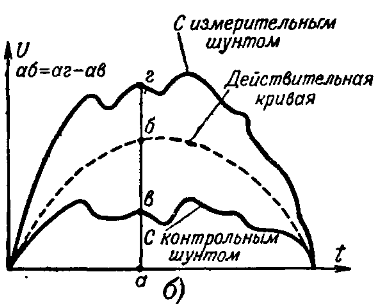


Рис. 11. Измерение тока при помощи осциллографа.

а — блок-схема установки; *б* — пример графического определения действительной кривой изменения тока.

Если индуктивность сопротивления достаточно велика, то падение напряжения на индуктивной составляющей при измерении на высоких частотах может стать причиной серьезных ошибок. Поэтому, если имеется опасность возникновения подобных ошибок, поступают следующим образом. Изготовляют сопротивление точно такой же конфигурации, как и измерительное, но из материала с очень малым удельным сопротивлением. Падением напряжения на активной составляющей в таком случае можно пренебречь

и считать, что снятая осциллограмма представляет собой осциллограмму искажений, внесенных индуктивностью измерительного сопротивления. Путем вычитания по точкам из осциллограммы, снятой при помощи измерительного сопротивления, осциллограммы, снятой с контрольным сопротивлением, получают истинную картину изменения исследуемого тока (рис. 11,*б*).

По мере увеличения максимальных значений измеряемых токов величина сопротивления $R_ш$ должна уменьшаться, так как иначе луч выйдет за пределы экрана. Уменьшение же активного сопротивления не всегда сопровождается пропорциональным уменьшением индуктивного, и следовательно, влияние индуктивной составляющей усиливается. По этой причине желательно при осциллографировании больших токов понижать чувствительность трубки (можно путем увеличения напряжения на ее аноде), так как это позволит работать с более высокоомными сопротивлениями. Однако максимальную величину сопротивления следует выбирать такой, чтобы включение его последовательно в измеряемую цепь не вносило в параметры этой цепи заметных искажений.

При измерении малых токов также стремятся пользоваться высокоомным сопротивлением с целью получения ощутимого падения напряжения на нем. При этом роль индуктивной составляющей, как правило, оказывается весьма незначительной. Но в этом случае становится существенным влияние входной емкости осциллографа, которая оказывается присоединенной параллельно измерительному сопротивлению. Для уменьшения шунтирующего действия этой емкости рекомендуется применять те же методы, что и при осциллографировании напряжения источника с большим внутренним сопротивлением.

При исследовании работы усилительных устройств низкой частоты желательно определить, насколько форма колебаний на выходе устройства отличается от поданной на вход синусоиды, т. е. определить коэффициент нелинейных искажений:

$$K_f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots U_n}}{U_1},$$

где U_1, U_2, U_3 и т. д.— эффективные значения напряжений соответственно первой (основной), второй, третьей и т. д. гармоник.

Такое исследование формы колебаний может быть произведено при помощи измерителя нелинейных искажений (например, типа ИНИ-10М или ИНИ-11). Вначале прибором измеряют общую величину исследуемого колебания. Затем в приборе включают фильтр, который полностью подавляет первую гармонику исследуемого колебания. В этом случае прибор измеряет суммарную величину напряжения одних только высших гармоник. По двум полученным результатам измерений можно найти коэффициент нелинейности. Практически это производится самим прибором. Чтобы можно было пользоваться шкалой прибора, следует при измерении общей величины исследуемого колебания отрегулировать усилитель измерителя так, чтобы стрелка индикатора отклонилась до специальной метки на шкале. Тогда при включении фильтра стрелка индикатора покажет величину коэффициента нелинейных искажений в процентах или децибелах.

Если полученный коэффициент K'_f больше 10%, то следует произвести пересчет по формуле

$$K_f = \frac{K'_f}{\sqrt{1 - \left(\frac{K'_f}{100}\right)^2}}.$$

Величина нелинейных искажений может быть оценена и при помощи электронно-лучевого осциллографа. Подробно об этом рассказано в § 9.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И СДВИГА ФАЗЫ

Существует много методов измерения частоты. Для измерения звуковых частот, точность измерения на которых обычно не превышает 0,1%, используются метод акустических биений, метод сравнения частот при помощи электронного осциллографа и метод заряда-разряда конденсатора.

Акустический метод биений по существу является методом сравнения неизвестной частоты f_x с известной (образцовой) частотой f_0, получаемой от измерительного генератора, в качестве которого могут быть использованы звуковые генераторы типов ЗГ-2А, ЗГ-10 и т. п. Обе частоты подаются на телефоны T, как это показано на рис. 12. Если частоты f_x и f_0 достаточно близки, то в телефонах

будут слышны акустические биения, выражающиеся в периодическом нарастании и спадании громкости звукового тона. Регулируя частоту f_0, можно добиться все более медленных нарастаний и спаданий тона и, наконец, пропадания биений: в телефонах будет слышен ровный тон. Это означает, что частота f_0 равна частоте f_x, которая в этом случае может быть определена по шкале измерительного генератора частоты. Следует указать, что акустические биения будут выражены наиболее ярко при равенстве амплитуд сравниваемых частот.

Если сравниваемые частоты по форме близки к синусоидальным, то в качестве индикатора совпадения образ-

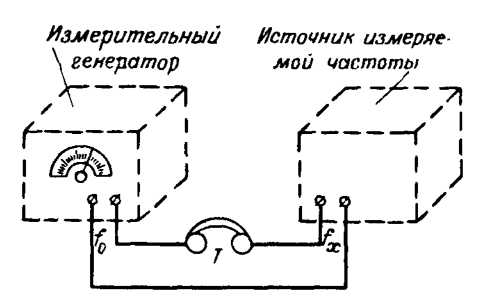


Рис. 12. Схема измерения частоты методом акустических биений.

цовой частоты с измеряемой или отношения этих частот, равного отношению небольших целых чисел, можно использовать электронный осциллограф. При этом одновременно можно не только выяснить отношение сравниваемых частот, но и определить сдвиг фаз между ними, что в ряде случаев бывает необходимо, например, при определении фазового сдвига, вносимого усилителем.

Для этого на обе пары отклоняющих пластин подаются напряжения, сдвиг фаз между которыми хотят измерить. Амплитуды этих напряжений должны быть подобраны так, чтобы отклонение луча по вертикали и горизонтали было одинаковым. Характер эллипса, который появляется при этом на экране осциллографа, будет зависеть от величины угла сдвига фаз между исследуемыми напряжениями (рис. 13). Для случая сдвига фаз 0° или 180° эллипс сжимается в прямую линию, наклоненную под углом 45° к осям. При сдвиге фаз 90° или 270° эллипс превращается

в круг. В промежуточных положениях угол сдвига фаз определяется по формуле

$$\sin\alpha = \pm \frac{Б}{А},$$

где $А$ и $Б$ указаны на рис. 13.

Если на отклоняющие пластины подать синусоидальные колебания неодинаковой частоты, то на экране появится так называемая фигура Лиссажу, по виду которой можно определить соотношение частот, поданных на отклоняющие пластины, т. е. узнать, во сколько раз частота одного напряжения больше (или меньше) частоты другого.

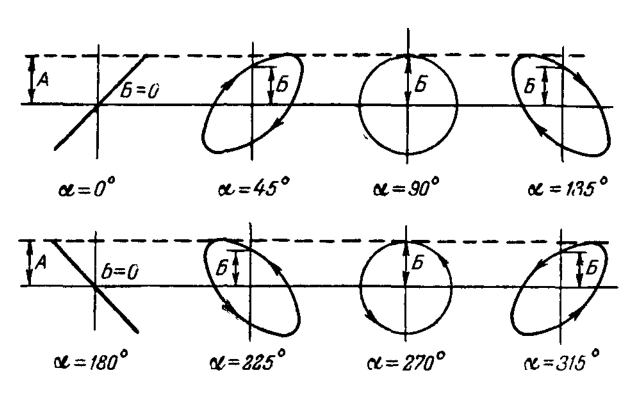


Рис. 13. Определение угла сдвига фазы двух синусоидальных колебаний осциллографическим методом.

Практически для определения соотношения частот поступают следующим образом. К вертикально отклоняющим пластинам подводят напряжение, частота которого должна быть определена, а к горизонтально отклоняющим — напряжение от какого-либо градуированного генератора, частота которого регулируется до тех пор, пока на экране не появится неподвижная и наиболее простая фигура. Следует обязательно стремиться получить как можно более простую фигуру, так как расшифровка сложных фигур, получающихся при большом отношении сравниваемых частот, затруднена. Затем подсчитывают количество точек касания фигуры с вертикальной линией (*в*) и количество точек касания с горизонтальной линией (*г*). Отношение количеств

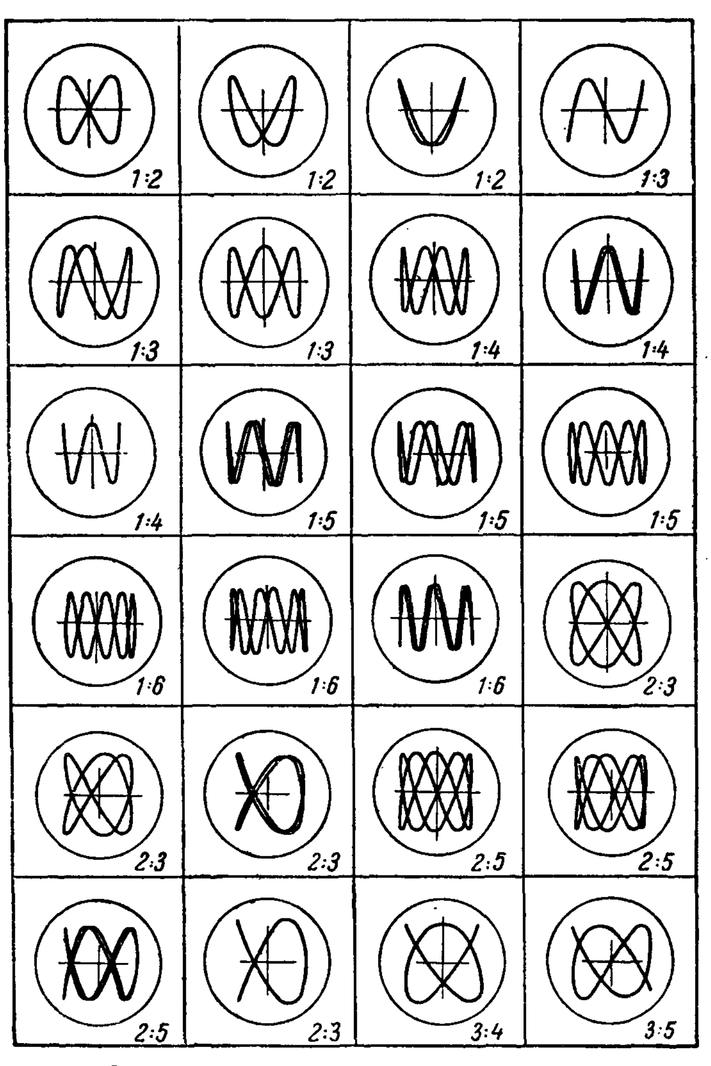


Рис. 14. Фигуры Лиссажу при различных соотношениях частот и различных углах сдвига фаз.

этих точек касания и даст отношение частот, поданных на отклоняющие пластины:

$$\frac{f_в}{f_г} = \frac{г}{в}; \quad \frac{f_x}{f_0} = \frac{г}{в}; \quad f_x = f_0 \frac{г}{в}.$$

г) На рис. 14 приведены фигуры Лиссажу, получающиеся при различных соотношениях частот и углах сдвига фаз.

При измерении в диапазоне звуковых частот в качестве образцовой частоты f_0 можно использовать частоту осветительной сети (50 *гц*).

Частоты до 100—200 *кгц* можно измерять при помощи измерителей частоты с непосредственным отсчетом, например ИЧ-6. Принцип действия этих приборов основан на том, что каждая положительная полуволна колебания подключает при помощи электронного реле к источнику тока

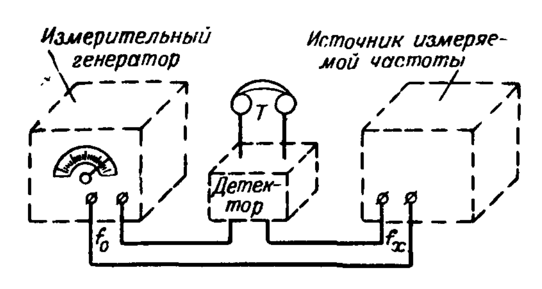


Рис. 15. Схема измерения радиочастоты методом нулевых биений.

измерительный конденсатор, а каждая отрицательная полуволна разрывает цепь заряда конденсатора и подключает его к индикатору. Происходит разряд конденсатора, причем ток через индикатор зависит от измеряемой частоты. Следовательно, индикатор может быть проградуирован непосредственно в частотах.

Для измерения радиочастот применяют в основном резонансные и гетеродинные волномеры, а также метод нулевых биений. Последний заключается в сравнении измеряемой частоты f_x с известной (образцовой) частотой f_0. В качестве источника образцовой частоты можно применить сигнал-генератор, например типа ГСС-6. Колебания образцовой и измеряемой частот одновременно подаются на детектор (рис. 15), на выходе которого включены телефоны *T*. Если образцовая частота достаточно близка к измеряемой, то в телефонах слышна частота биений между ними $f_б = f_x - f_0$. Чем ближе частоты, тем ниже тон биений. Поэтому, регулируя частоту измерительного сигнал-генератора, можно по пропаданию тока биений в телефонах

определить момент равенства частот. Тогда измеряемая частота f_x определится по шкале измерительного сигнал-генератора.

Однако при таком способе измерения возможна ошибка в определении момента равенства частот порядка десятков герц, так как ухо не слышит звука с частотой ниже 15—20 *гц*, и поэтому кажущееся пропадание тона биений происходит раньше наступления действительного равенства сравниваемых частот. При относительно высоких сравниваемых частотах ошибка в 30—40 *гц* в процентах измеряемой частоты невелика и обычно не превышает точности градуировки сигнал-генератора. При относительно же низких измеряемых частотах для повышения точности определения момента равенства сравниваемых частот можно на выходе детектора включить гальванометр, стрелка которого будет колебаться с частотой биений. Включать гальванометр следует уже после пропадания тона биений в телефонах, когда частота биений не превышает десятка герц, так как при большей частоте биений из-за инерционности подвижной системы гальванометра стрелка колебаться не будет. При совпадении частот колебания стрелки прекратятся.

При измерении методом нулевых биений на высоких частотах возможна еще ошибка из-за явления захватывания. Сущность этого явления состоит в том, что если имеется достаточно сильная связь между двумя источниками колебаний, то при приближении частоты одного генератора к частоте другого генератор меньшей мощности «захватывается», т. е. его частота скачком становится равной частоте другого генератора. В нашем случае это выразится в том, что при некотором положении ручки настройки измерительного сигнал-генератора его частота (или измеряемая частота, если ее источник меньшей мощности) скачком изменится, сделается равной частоте f_x и не будет зависеть (в некотором интервале частот) от поворота ручки настройки. Чтобы избежать такого явления и связанной с ним ошибки, надо по возможности уменьшить связь между измерительным сигнал-генератором и источником измеряемой частоты.

Более удобными приборами для измерения высокой частоты методом сравнения являются гетеродинные волномеры, например типа 528. Они состоят из высокочастотного генератора образцовой частоты повышенной стабильности

с плавной настройкой, смесителя, в котором получаются биения между образцовой и измеряемой частотами, и усилителя низкой частоты, усиливающего колебания биений. Кроме того, в некоторых гетеродинных волномерах имеется специальный стабилизированный кварцем генератор, служащий для проверки градуировки волномера непосредственно перед измерением.

Измерение частоты гетеродинным волномером производится следующим образом. Если неизвестно хотя бы приблизительное значение измеряемой частоты, то производят самое грубое определение ее любым способом. Далее, по графикам градуировки волномера определяют, какому диапазону и какой точке шкалы соответствует ближайшая к измеряемой частоте опорная частота, даваемая кварцевым генератором волномера. Частоту генератора волномера устанавливают на эту опорную частоту, включают кварцевый генератор и производят точную корректировку частоты волномера по нулевым биениям. Затем кварцевый генератор выключают, связывают волномер при помощи небольшого штыря с источником измеряемой частоты и подстраивают генератор образцовой частоты до пропадания биений. Значение измеряемой частоты прочитывают по шкале генератора.

Следует отметить, что если форма колебаний измеряемой частоты отличается от синусоидальной, то обнаруживание момента пропадания биений затруднено, так как в этом случае, кроме основной частоты, в измеряемых колебаниях содержатся и другие частоты, которые тоже образуют биения с образцовой частотой $f_о$ и заглушают основные биения. В этом случае после смесителя в волномере следует включить фильтр, настроенный на некоторую частоту $f_ф$, а генератор образцовой частоты настраивать на частоту $f_{о1}=f_x+f_ф$, а затем на частоту $f_{о2}=f_x-f_ф$ по индикатору на выходе фильтра. При равенстве частоты $f_о$ частоте $f_x+f_ф$ или $f_x-f_ф$ показания индикатора будут максимальными. При этом частота

$$f_x=\frac{f_{о1}+f_{о2}}{2}.$$

Наконец, высокую частоту можно измерить при помощи резонансного волномера, который по существу представляет собой колебательный контур, настраиваемый в резонанс

с измеряемой частотой по индикатору. Измеряемую частоту определяют в момент резонанса по шкале волномера. Чтобы волномером можно было измерять частоты в широком диапазоне, к нему прилагают несколько сменных катушек индуктивности.

Измерения при помощи такого волномера производятся следующим образом. В волномер вставляют катушку того диапазона, в котором ориентировочно находится измеряемая частота, устанавливают его на некотором расстоянии от источника измеряемой частоты и вращают конденсатор настройки волномера. Если индикатор не реагирует на изменение настройки, то волномер придвигают ближе к источнику измеряемой частоты или даже связывают его катушку с источником измеряемой частоты петлей провода. Если же индикатор и в этом случае не реагирует на изменение положения конденсатора настройки, то следует сменить катушку волномера, отодвинув последний от источника измеряемой частоты. Так поступают и в том случае, если при вращении конденсатора настройки показания индикатора непрерывно возрастают или убывают.

Точность измерения значительно повышается, если, как и в предыдущем случае, применить способ двух отсчетов. Для этого настройку волномера производят не на частоту измеряемого колебания, а на боковые частоты f_{01} и f_{02}, при настройке на которые показания индикатора одинаковы и составляют 70—80% показаний при настройке на основную частоту. Тогда измеряемая частота

$$f_x = \frac{f_{01} + f_{02}}{2}.$$

Если мощность источника измеряемой частоты очень мала и индикатор волномера не в состоянии отметить момент резонанса даже при сильной связи контура волномера с источником, применяют метод реакции. Для этого в анодную цепь генератора измеряемой частоты последовательно с контуром или в цепь сетки включают измерительный прибор, а волномер помещают рядом с контуром генератора. В момент резонанса измерительный прибор в анодной цепи генератора отметит максимальный, а измерительный прибор в цепи сетки — минимальный ток.

В последнее время в практике радиолюбительских измерений получил распространение гетеродинный индика-

тор резонанса (ГИР). Этот прибор представляет собой одноламповый высокочастотный генератор, в сеточную цепь которого включен стрелочный или какой-либо другой индикатор. Прибор позволяет производить самые разнообразные измерения, в частности измерять высокую частоту.

При измерении частоты гетеродинный индикатор резонанса уподобляется резонансному волномеру. Генератор

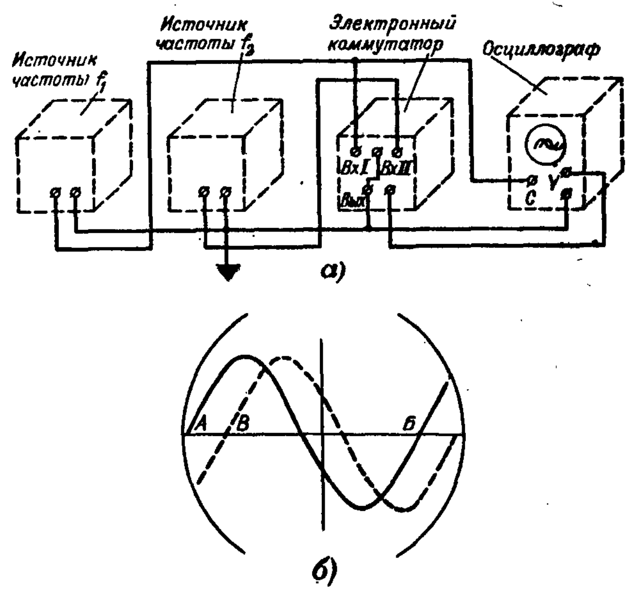


Рис. 16. Схема измерения угла сдвига фазы двух колебаний при помощи осциллографа с пилообразной разверткой и электронным коммутатором (*а*) и получающаяся при этом осциллограмма (*б*).

прибора при этом выключен; используется лишь колебательный контур с индикатором настройки в резонанс с измеряемой частотой. Процесс измерения ничем не отличается от описанного выше измерения при помощи резонансного волномера.

Мы уже говорили о способе измерения фазового сдвига осциллографом при подаче на его отклоняющие пластины синусоидальных напряжений. Можно применить другой способ измерения угла сдвига фазы, более наглядный и пригодный для измерения сдвига фазы не только синусоидальных колебаний. Для этого необходим либо двух-

лучевой осциллограф, либо электронный коммутатор (например, ЭК-1), позволяющий наблюдать на экране однолучевого осциллографа одновременно два процесса. Схема измерения приведена на рис. 16,*а*. При включенной пилообразной развертке осциллографа на его экране возникают изображения двух колебаний, сдвинутых одно относительно другого (рис. 16,*б*). Измерив на экране отрезок *АБ*, соответствующий периоду колебаний, а также отрезок *АВ*, соответствующий величине сдвига фазы, определяют фазовый угол:

$$\alpha = \frac{AB}{AБ} 360^\circ.$$

5. ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

При измерении параметров электрических импульсов приходится иметь дело с резкими изменениями напряжения, происходящими в очень короткие промежутки времени. Для измерения таких быстрых изменений напряжения нужны практически безынерционные приборы. Кроме того, в большинстве случаев необходимо не только измерить амплитуду импульса, частоту повторения и т. п., но и исследовать форму импульса, определить длительность его отдельных частей, выявить искажения импульса при прохождении его через испытываемое устройство. В подавляющем большинстве случаев все это можно проделать лишь при помощи электронного осциллографа.

Однако не всякий электронный осциллограф может быть применен для импульсных измерений. У обычных осциллографов (таких, как ЭО-5 или ЭО-7) генератор развертки создает повторяющуюся или, как говорят, непрерывную развертку. С такой разверткой можно исследовать только периодически повторяющиеся импульсы, причем длительность каждого импульса должна составлять не менее 0,1 времени повторения. Если же исследуемые импульсы имеют меньшую длительность, то исследовать их при помощи непрерывной развертки трудно, так как изображение импульса на экране будет мало растянуто по горизонтали. Если же исследуемые импульсы повторяются непериодически или однократно, то непрерывная развертка вообще непригодна для их исследования.

Во всех этих случаях нужен осциллограф, имеющий генератор ждущей развертки, который при отсутствии исследуемых импульсов на входе осциллографа находится в

исходном, «ждущем» состоянии и запускается самим исследуемым импульсом. После окончания прямого хода развертки генератор возвращается в исходное состояние и ожидает прихода следующего исследуемого импульса. В зависимости от длительности исследуемых импульсов подбирается и длительность прямого хода развертки.

При работе с обычными осциллографами в качестве генератора ждущей развертки могут использоваться специальные приставки, например, ЖР-1. Современные осциллографы содержат два генератора развертки — непрерывный и ждущий.

При запуске генератора ждущей развертки самим исследуемым импульсом неизбежно запаздывание начала развертки относительно начала исследуемого импульса. Это приводит к тому, что начала исследуемого импульса не видно на экране. Избежать этого можно двумя путями.

Во-первых, можно в цепь вертикального канала осциллографа включить линию задержки, задерживающую исследуемый импульс на время, равное или большее, чем время запаздывания начала развертки. Но при этом происходит неизбежное искажение импульса.

Во-вторых, если можно управлять источником импульсов, то осциллограф снабжается специальным блоком, который вырабатывает два импульса, сдвинутые один относительно другого во времени. Первый, более ранний, импульс запускает генератор ждущей развертки, а второй, более поздний, — источник исследуемых импульсов. Поэтому исследуемый импульс поступает на вход осциллографа уже после начала прямого хода развертки. Таким генератором снабжен, например, осциллограф ЭНО-1.

Если исследуемые импульсы имеют достаточную амплитуду, то их лучше подавать непосредственно на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки; в противном же случае необходимо увеличить амплитуду импульсов, пропустив их через усилитель вертикального отклонения осциллографа. Чтобы не произошло искажения формы импульсов, частотная характеристика усилителя должна быть линейной в пределах от нескольких герц до нескольких мегагерц.

Особое внимание следует обратить на входную емкость осциллографа, так как она приводит к искажению фронта и спада исследуемых импульсов. Если эта емкость поряд-

ка десятков пикофарад, то исследуемые импульсы на вход осциллографа следует подавать через пробник, представляющий собой миниатюрный катодный повторитель с входной емкостью в единицы пикофарад.

Измерение амплитуды импульсов. Это измерение производится при помощи лампового вольтметра или осциллографа.

Применять ламповый вольтметр можно только в том случае, если исследуемые импульсы периодически повторяются и имеют одинаковые амплитуду и полярность. При этом следует иметь в виду, что вольтметр покажет не амплитудное значение напряжения импульсов U_m, а пиковое $U_{пик}$, измеренное относительно уровня постоянной составляющей U_0. В случае прямоугольной формы исследуемых импульсов $U_0 = U_m k_з$ (где $k_з$ — коэффициент заполнения импульсов) вольтметр покажет

$$U_{пик} = U_m - U_0 = U_m(1 - k_з).$$

При измерении амплитуды импульсов при помощи электронного осциллографа они подаются на вертикально отклоняющие пластины трубки; на горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение развертки (периодическое или ждущее в зависимости от вида импульсов). При этом на экране возникает изображение исследуемого импульса, по которому и производят нужные измерения, для чего осциллограф должен быть проградуирован.

При импульсных измерениях входная емкость осциллографа, а также емкость проводов, связывающих вход осциллографа с исследуемой цепью, шунтируют внутреннее сопротивление источника импульсов и вызывают тем самым изменение формы импульсов. Поэтому необходимо применять входной пробник.

Способ непосредственного измерения по изображению импульса на экране не всегда дает достаточную точность, так как она зависит от постоянства напряжения питания осциллографа, величины внутреннего сопротивления источника импульсов, влияния внешних магнитных полей на электронно-лучевую трубку и т. п.

Более точные результаты можно получить при измерении амплитуды импульсов компенсационным способом. Схема установки для таких измерений приведена на рис. 17. Измерительным прибором здесь служит вольтметр

постоянного или переменного тока необходимого класса точности. Внутреннее сопротивление его должно быть в несколько сотен раз больше сопротивления потенциометров R_1 и R_2. Осциллограф играет роль индикатора. При измерении движок потенциометра R_1 устанавливается в положение, при котором основание измеряемого импульса

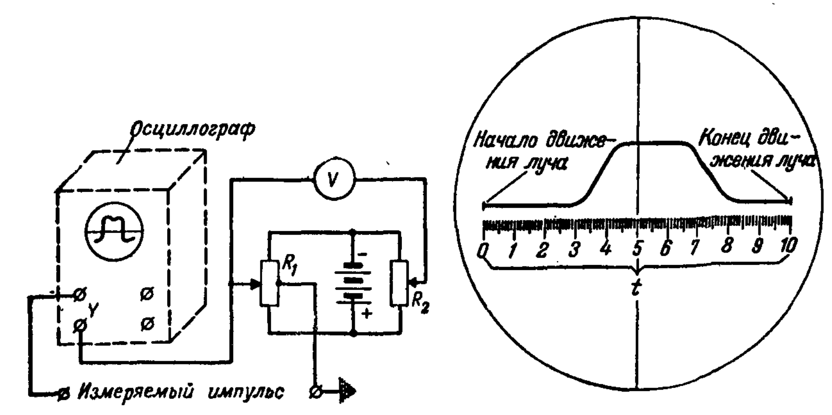


Рис. 17. Схема измерения амплитуды импульсов компенсационным методом.

Рис. 18. Определение временных параметров импульса по временно́му масштабу развертки осциллографа.

совпадает с нулевой линией на масштабной сетке осциллографа. Далее, перемещением движка потенциометра R_2 добиваются нулевого показания вольтметра. После этого движок потенциометра R_1 вновь перемещают до тех пор, пока вершина измеряемого импульса не окажется на нулевой линии. При этом вольтметр укажет амплитуду этого импульса.

Наконец, амплитуду импульса можно измерить способом сравнения. Это особенно удобно при измерении импульсов с малой амплитудой, которые в обычном случае надо предварительно усиливать, и поэтому полученные результаты зависят от постоянства уровня усиления. В случае измерения способом сравнения такой зависимости нет, так как амплитуда импульсов измеряется не по градуированной сетке, а путем сравнения с известной амплитудой синусоидального напряжения. Для этого на вход вертикального усилителя осциллографа вначале подаются исследуемые импульсы, а затем вспомогательное синусоидальное напряжение, амплитуда которого подби-

рается такой, чтобы она совпала на экране с амплитудой импульсов. Измеряя ламповым вольтметром двойную амплитуду синусоидального напряжения, измеряют тем самым и амплитуду исследуемых импульсов.

Измерение длительности импульса. Такое измерение может быть произведено путем сравнения ширины его изображения на экране осциллографа с временным масштабом развертки (рис. 18), который определяется как

$$t=\frac{1}{f},$$

где t — время, в течение которого луч проходит от одного края экрана трубки до другого, *сек*;

f — частота развертки, *гц*.

Однако результаты, полученные таким способом, приблизительны, так как не все время t затрачивается лучом на прохождение от одного края экрана до другого; часть этого времени приходится на обратный ход. Если изве-

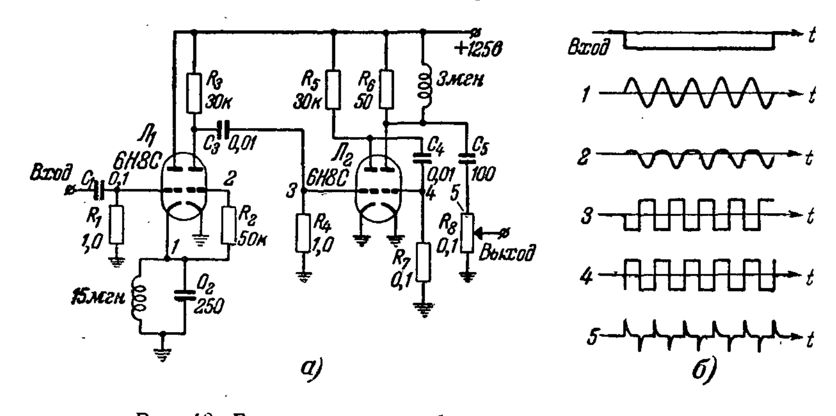


Рис. 19. Генератор масштабных временных меток.
а — принципиальная схема; *б* — форма напряжений на различных участках схемы

стно время обратного хода, то в приведенную формулу следует внести поправку. Кроме того, полученный результат будет зависеть еще и от того, насколько точно определена частота f развертки.

Значительно более точные результаты получаются при калибровке временного масштаба развертки калибрационными метками. Схема устройства, вырабатывающего такие метки, приведена на рис. 19. В исходном положе-

ний левая половина лампы $Л_1$ открыта. В нужный момент на ее сетку поступает отрицательный запирающий импульс. Прекращение прохождения тока через эту половину лампы вызовет в контуре, находящемся в ее катодной цепи, возникновение медленно затухающих колебаний. Колебания эти продолжаются до тех пор, пока лампа заперта, так как если лампа откроется, то контур окажется шунтированным ее малым выходным сопротивлением. Затем эти колебания преобразуются в импульсы прямоугольной формы. Благодаря наличию в анодной цепи правой половины лампы $Л_2$ индуктивности полученные прямоугольные импульсы дифференцируются и в виде положительных и отрицательных пиков подаются на управляющий электрод трубки, вызывая появление на экране темных и светлых отметок. Временной интервал между двумя ближайшими темными или светлыми отметками будет равен периоду колебаний в контуре в цепи катода левой половины лампы $Л_1$. Так как для удобства отсчета желательно, чтобы эти интервалы были равны 1 *мксек*, то собственная частота колебаний контура должна быть

$$f_0 = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \ \text{гц} = 1 \ \text{Мгц}.$$

Количество меток на экране осциллографа будет зависеть от добротности этого контура и определится примерно такой зависимостью:

$$n = \frac{Q}{3}.$$

Таким образом, если добротность контура порядка 100, то на экране будет видно около 30 одномикросекундных меток, что составляет общую протяженность временной калиброванной шкалы 30 *мксек* и вполне достаточно для большинства практических целей. Соответствующей длительностью должен обладать и спускающий прямоугольный импульс.

Подобным калибрующим устройством снабжаются многие осциллографы промышленного изготовления, например ЭО-6М и ЭНО-1. Такой способ калибровки временного масштаба удобен еще и тем, что он может быть применен и при ждущей развертке, когда определение длительности импульса по временному масштабу развертки очень приближенно.

Измерение частоты импульсов. Если импульсы периодически следуют друг за другом, то частоту их повторения $f_и$ можно определить путем сравнения с известной частотой синусоидального напряжения $f_с$. Для этого исследуемые импульсы подаются на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки; эти же импульсы используются для синхронизации частоты развертки.

Добившись устойчивого изображения на экране и измерив расстояние между двумя соседними импульсами, отключают источник исследуемых импульсов от вертикально отклоняющих пластин и подают на эти пластины синусоидальное напряжение. Синхронизация развертки по-прежнему осуществляется исследуемыми импульсами. Изменяя частоту синусоидального напряжения, добиваются прекращения движения синусоиды по экрану трубки. При этом следует иметь в виду, что движение синусоиды может прекращаться при многих значениях частоты синусоидального напряжения, поэтому нужно подобрать такое значение частоты $f_с$, при котором период синусоиды, полученной на экране, окажется равным или близким к значению ранее измеренного периода импульсов.

Полученное значение частоты $f_с$ является пока только приближенным значением частоты импульсов. Затем приступают к точному определению этой частоты. Для этого исследуемое импульсное напряжение подают на вертикально отклоняющие пластины трубки, а синусоидальное напряжение с найденной частотой $f_с \approx f_и$ — на горизонтально отклоняющие пластины. Плавно изменяя частоту синусоидального напряжения $f_с$, добиваются устойчивого положения изображеиия на экране, на котором в этот момент должен быть виден только один импульс. В таком положении частота синусоидального напряжения $f_с$ точно равна частоте импульсов $f_и$.

Описанное измерение можно производить и без предварительной грубой оценки частоты импульсов $f_и$. Однако в этом случае легко ошибиться, так как при втором точном этапе измерения можно получить на экране трубки один импульс не только при равенстве частоты импульсов и частоты синусоидального напряжения, но и при кратном их отношении.

6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В радиотехнических устройствах встречаются сопротивления величиной от долей ома до десятков, а иногда и сотен мегом. Наиболее часто для измерения сопротивлений применяются омметры и мегомметры (омметры обычно входят в состав комбинированных измерительных приборов, например ампервольтомметры ТТ-1 и АВО-5М). Эти приборы обычно многопредельны и дают непосредственный отсчет величины измеряемого сопротивления, что очень удобно при проверке и налаживании радиоаппаратуры. Однако точность измерения такими приборами невелика и редко превышает 5—10%. К тому же шкала таких приборов неравномерна.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется вольтметр с известным внутренним сопротивлением $R_{вн}$, то неизвестное сопротивление R_x можно измерить так называемым методом вольтметра. Кроме вольтметра, для этого необходима еще батарея с напряжением, чуть меньшим максимального напряжения, измеряемого вольтметром, и как можно меньшим внутренним сопротивлением.

Вначале измеряют напряжение $U_б$, даваемое батареей. Затем разрывают один из проводов, соединяющих вольтметр с батареей, и в разрыв включают измеряемое сопротивление R_x. При этом замечают показание вольтметра U и вычисляют значение этого сопротивления:

$$R_x = R_{вн} \frac{U_б - U}{U}.$$

Наибольшую точность этот метод даст в том случае, когда измеряемое сопротивление близко к величине внутреннего сопротивления вольтметра. Поэтому сопротивление R_x не должно быть больше $(10 \div 15) R_{вн}$ и меньше $0,1\ R_{вн}$. Для измерения небольших сопротивлений следует выбирать вольтметр с малым внутренним сопротивлением.

Сопротивление можно измерить также при помощи вольтметра и амперметра (миллиамперметра) по одной из приведенных на рис. 20 схем.

Схема на рис. 20,*а* применяется при измерении небольших сопротивлений. Погрешность при таком измерении будет тем больше, чем меньше внутреннее сопротивление вольтметра R_V, так как общий ток, измеряемый ампер-

метром, складывается из токов, проходящих через сопротивления R_x и R_V. Приближенное значение сопротивления R_x можно определить как $R_x = \frac{U}{I}$, а более точное как

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}},$$

где I — ток, *а*.

При измерении больших сопротивлений применяется схема, показанная на рис. 20,*б*. В этом случае погрешность будет тем больше, чем больше внутреннее сопротивление

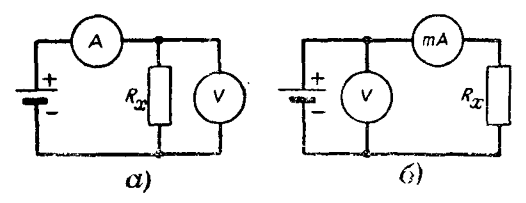


Рис 20. Схемы включения приборов при измерении сопротивлений методом вольтметра-амперметра.

а — при измерении малых сопротивлений; *б* — при измерении больших сопротивлений.

миллиамперметра, так как вольтметр измеряет падение напряжения на цепочке сопротивлений R_x и R_{mA}. Измеряемое сопротивление определяется по формуле

$$R_x = 1\,000 \frac{U}{I} - R_{mA},$$

где I — ток, *ма*.

Наиболее точно измерить сопротивление можно при помощи измерительного моста, например УМ-3. Работа с мостами обычно сводится к подбору положений переключателей и регулировке переменных сопротивлений до полной балансировки моста, при которой ток через индикатор, включенный в диагональ моста, отсутствует. Величина измеряемого сопротивления определяется по положениям ручек переключателей и сопротивлений.

7. ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ

С измерением емкости радиолюбителю чаще всего приходится сталкиваться при проверке конденсаторов, емкости которых могут быть от нескольких пикофарад до десятков и сотен микрофарад.

Перед измерением конденсаторы необходимо проверить на отсутствие пробоя и величину утечки. Проверку на отсутствие пробоя (короткого замыкания) можно произвести при помощи пробника-индикатора постоянного тока и батареи. Индикатор подключается к батарее через испытываемый конденсатор. При исправном конденсаторе стрелка прибора отклоняться не будет; если емкость конденсатора велика, то в момент подключения стрелка несколько отклонится, а затем вернется в прежнее положение.

Проверку конденсатора на утечку производят при помощи омметра, причем при проверке электролитических конденсаторов их надо подключать к омметру с соблюдением полярности. Сопротивление исправного электролитического конденсатора должно быть не менее 0,1 *Мом*, а ток утечки $I_у$ (в миллиамперах) не должен превышать величины, вычисленной по формуле

$$I_у = kCU \cdot 10^{-4} + m,$$

где $k = 1$ (при температуре 20° С) или 3 (при 60° С);
C — номинальная емкость, *мкф*;
U — номинальное рабочее напряжение, *в*;
$m = 0{,}2$ (для емкостей, не превышающих 5 *мкф*); 0,1 (для емкостей 8—50 *мкф*) или 0 (для емкостей более 50 *мкф*).

Проверку конденсатора на утечку можно произвести и при помощи телефонов и батареи с напряжением в несколько вольт. Телефоны присоединяют к батарее через испытываемый конденсатор, причем последний подключают лишь на мгновение. Затем через 2—3 *сек* конденсатор снова подключают и т. д. Если конденсатор исправен, то щелчок в телефонах будет слышен только при первом подключении, так как конденсатор тут же зарядится и повторные подключения уже не будут вызывать в телефонах щелчков.

Наиболее просто и быстро измерить емкость конденсатора можно при помощи приборов с непосредственным отсчетом — фарадометров, измерителей емкости (например, типа НИЕ-1), а также мостов (например УМ-3).

Если в распоряжении радиолюбителя нет подобных приборов, то измерить емкость конденсатора можно мето-

дом вольтметра-амперметра, сущность которого заключается в том, что конденсатор, включенный в цепь переменного тока, оказывает сопротивление проходящему через него току. Емкость конденсатора при этом может быть подсчитана по формуле

$$C = \frac{I}{6{,}28fU}.$$

Обычно при измерении методом вольтметра-амперметра в качестве источника тока используется электрическая сеть с частотой 50 *гц*. В этом случае емкость конденсатора

$$C = 3{,}2\frac{I}{U},$$

где C — емкость, *мкф*;
I — ток, *ма*;
U — напряжение, *в*.

Включение приборов производится по одной из схем, изображенных на рис. 21. В схеме на рис. 21,*а* миллиамперметр *mA* измеряет суммарный ток, проходящий через конденсатор C_x и вольтметр *V*. При этом погрешность измерения будет тем меньше, чем меньше сопротивление конденсатора C_x по сравнению с внутренним сопротивле-

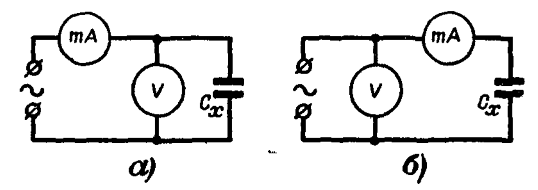


Рис. 21. Схемы включения приборов при измерении емкости методом вольтметра-амперметра.

а — при измерении конденсаторов большой емкости; *б* — при измерении конденсаторов малой емкости.

нием вольтметра. Сопротивление же конденсатора будет тем меньше, чем больше емкость конденсатора. Поэтому схема на рис. 21,*а* применяется при измерении конденсаторов большой емкости. При измерении же конденсаторов малой емкости применяется схема на рис. 21,*б*.

Наилучшие результаты измерений можно получить при использовании миллиамперметра термоэлектрической системы и лампового вольтметра.

Измерять емкости электролитических конденсаторов описанным способом можно только при низком переменном напряжении (1—2 *в*). Схема измерения приведена на рис. 22. Потенциометр R служит для уменьшения напряжения до нужной величины. Первое деление шкалы миллиамперметра mA должно соответствовать 2—3, а максимальное отклонение стрелки — 100—250 *ма*. Измерение производится обычным способом, а искомая емкость конденсатора определяется по приведенной выше формуле.

Если у радиолюбителя имеется магазин эталонных емкостей, то измерение емкости конденсатора C_x можно

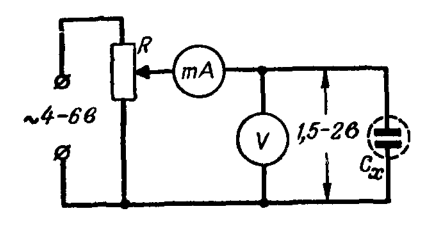


Рис. 22. Схема измерения емкости электролитических конденсаторов на переменном токе.

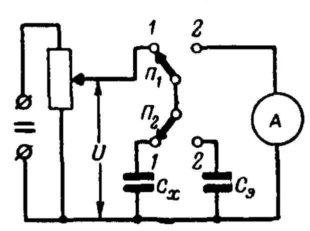


Рис. 23. Схема измерения емкости баллистическим методом.

произвести баллистическим методом. Для этого составляется схема, показанная на рис. 23. Измерение производится следующим образом.

Вначале переключатели $П_1$ и $П_2$ устанавливаются в положение *1*. Измеряемый конденсатор C_x при этом заряжается до напряжения U. Когда конденсатор зарядится, переключатель $П_1$ переводят в положение *2*. При этом положении переключателя происходит разряд конденсатора C_x через прибор A, в качестве которого используется микроамперметр. Во время разряда конденсатора стрелка прибора отклоняется. Если это отклонение мало, то подбирают напряжение U таким, чтобы стрелка отклонялась почти на всю шкалу. При этом замечают отклонение стрелки.

Затем переключатель $П_1$ переводят в положение *1*, а переключатель $П_2$ — в положение *2*. В этих положениях переключателей происходит заряд одного из эталонных конденсаторов $C_э$, емкость которого примерно соответствует емкости конденсатора C_x. Когда конденсатор $C_э$ зарядится до напряжения U, переключатель $П_1$ переводят

в положение 2 и следят за отклонением стрелки прибора A. Суть измерения заключается в том, чтобы подобрать такое значение емкости $C_э$, при котором стрелка покажет такое же отклонение, как и при разряде через прибор измеряемого конденсатора C_x.

Обычно баллистическим методом достаточно точно (ошибка до 10—15%) удается измерить только конденсаторы большой емкости.

Удобнее измерять емкость конденсатора на переменном токе методом сравнения. Для этого составляется схема, показанная на рис. 24. Изменяя эталонную емкость $C_э$ магазина, добиваются равенства показаний миллиамперметра *mA* при обоих положениях переключателя *П*. Это означает, что измеряемая емкость конденсатора C_x равна эталонной емкости $C_э$.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется не магазин эталонных емкостей, а лишь несколько конденсаторов известной емкости, то к зажимам *1—2* схемы на рис. 24 следует подключить термоэлектрический миллиамперметр или ламповый вольтметр, шунтированный сопротивлением, величина которого примерно в 20 раз меньше реактивного сопротивления конденсатора C_x. При этом часть схемы правее зажимов *1—2* отключается. Емкость эталонного конденсатора $C_э$ нужно выбирать как можно ближе к предполагаемой емкости конденсатора C_x. Показания миллиамперметра (или вольтметра) при разных положениях переключателя будут различными, и искомая емкость конденсатора определится по формуле

$$C_x = \frac{I_x}{I_э} C_э = \frac{U_x}{U_э} C_э.$$

Напомним, что сопротивление изоляции измеряемого конденсатора должно быть не менее чем в 100 раз больше его реактивного сопротивления.

Емкость конденсатора можно измерить и резонансным методом. Обычно этим методом измеряют конденсаторы небольшой емкости (не более 0,01 *мкф*). Из многочисленных способов измерения емкости резонансным методом рассмотрим наиболее простые.

На рис. 25,*а* приведена схема измерения емкости резонансным методом в сочетании с методом замещения.

В качестве высокочастотного генератора может быть применен любой сигнал-генератор или даже зуммерный генератор, а в качестве индикатора можно использовать гальванометр термоэлектрической системы или ламповый

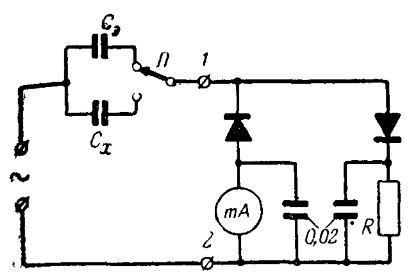


Рис. 24. Схема измерения емкости методом сравнения.

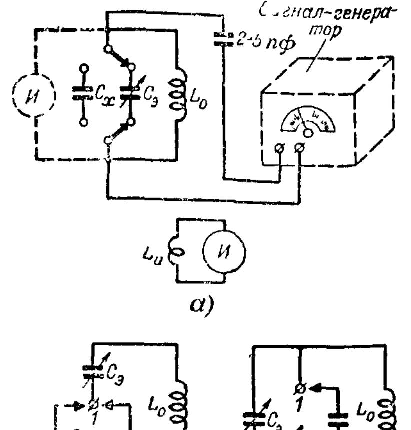


Рис. 25 Схема измерения емкости резонансным методом в сочетании с методом замещения.

а — для измерения емкостей в пределах изменений емкости эталонного конденсатора, *б* — для измерения емкостей, больших чем емкость эталонного конденсатора, *в* — для измерения емкостей, меньших, чем емкость эталонного конденсатора

вольтметр, а если колебания генератора модулированы, то детектор и телефоны. Включать индикатор непосредственно в измерительный контур (как показано на схеме пунктиром) не рекомендуется, так как это уменьшит добротность контура и тем затруднит определение момента резонанса.

Измерение производится следующим образом. Вначале к катушке L_0 измерительного контура подключают измеряемый конденсатор C_x и настраивают сигнал-генератор в резонанс с контуром L_0C_x по максимальному показанию индикатора. Затем отсоединяют конденсатор C_x и подключают к измерительному контуру конденсатор переменной емкости $C_э$. Не меняя частоты сигнал-генератора, изменением емкости конденсатора $C_э$ настраивают контур $L_0C_э$ в резонанс с частотой сигнал-генератора (в момент резонанса $C_э = C_x$).

Если конденсатор $C_э$ имеет градуированную шкалу, то на этой шкале может быть прочитана искомая емкость конденсатора C_x.

в положение 2 и следят за отклонением стрелки прибора *А*. Суть измерения заключается в том, чтобы подобрать такое значение емкости $C_э$, при котором стрелка покажет такое же отклонение, как и при разряде через прибор измеряемого конденсатора C_x.

Обычно баллистическим методом достаточно точно (ошибка до 10—15%) удается измерить только конденсаторы большой емкости.

Удобнее измерять емкость конденсатора на переменном токе методом сравнения. Для этого составляется схема, показанная на рис. 24. Изменяя эталонную емкость $C_э$ магазина, добиваются равенства показаний миллиамперметра *mA* при обоих положениях переключателя *П*. Это означает, что измеряемая емкость конденсатора C_x равна эталонной емкости $C_э$.

Если в распоряжении радиолюбителя имеется не магазин эталонных емкостей, а лишь несколько конденсаторов известной емкости, то к зажимам *1—2* схемы на рис. 24 следует подключить термоэлектрический миллиамперметр или ламповый вольтметр, шунтированный сопротивлением, величина которого примерно в 20 раз меньше реактивного сопротивления конденсатора C_x. При этом часть схемы правее зажимов *1—2* отключается. Емкость эталонного конденсатора $C_э$ нужно выбирать как можно ближе к предполагаемой емкости конденсатора C_x. Показания миллиамперметра (или вольтметра) при разных положениях переключателя будут различными, и искомая емкость конденсатора определится по формуле

$$C_x = \frac{I_x}{I_э} C_э = \frac{U_x}{U_э} C_э.$$

Напомним, что сопротивление изоляции измеряемого конденсатора должно быть не менее чем в 100 раз больше его реактивного сопротивления.

Емкость конденсатора можно измерить и резонансным методом. Обычно этим методом измеряют конденсаторы небольшой емкости (не более 0,01 *мкф*). Из многочисленных способов измерения емкости резонансным методом рассмотрим наиболее простые.

На рис. 25,*а* приведена схема измерения емкости резонансным методом в сочетании с методом замещения.

В качестве высокочастотного генератора может быть применен любой сигнал-генератор или даже зуммерный генератор, а в качестве индикатора можно использовать гальванометр термоэлектрической системы или ламповый

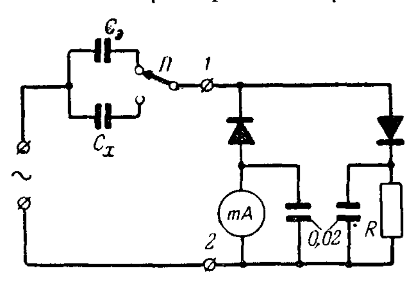


Рис. 24. Схема измерения емкости методом сравнения.

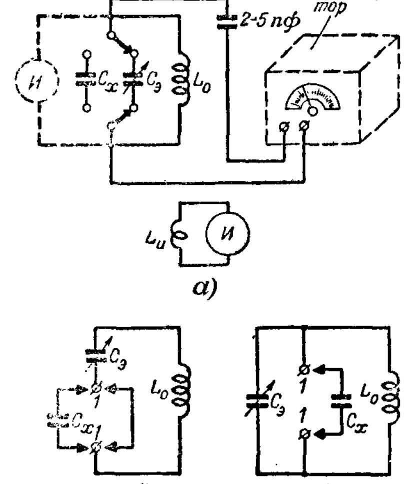


Рис. 25. Схема измерения емкости резонансным методом в сочетании с методом замещения.

а — для измерения емкостей в пределах изменений емкости эталонного конденсатора; *б* — для измерения емкостей, бо́льших, чем емкость эталонного конденсатора; *в* — для измерения емкостей, меньших, чем емкость эталонного конденсатора.

вольтметр, а если колебания генератора модулированы, то детектор и телефоны. Включать индикатор непосредственно в измерительный контур (как показано на схеме пунктиром) не рекомендуется, так как это уменьшит добротность контура и тем затруднит определение момента резонанса.

Измерение производится следующим образом. Вначале к катушке L_0 измерительного контура подключают измеряемый конденсатор C_x и настраивают сигнал-генератор в резонанс с контуром L_0C_x по максимальному показанию индикатора. Затем отсоединяют конденсатор C_x и подключают к измерительному контуру конденсатор переменной емкости $C_э$. Не меняя частоты сигнал-генератора, изменением емкости конденсатора $C_э$ настраивают контур $L_0C_э$ в резонанс с частотой сигнал-генератора (в момент резонанса $C_э = C_x$).

Если конденсатор $C_э$ имеет градуированную шкалу, то на этой шкале может быть прочитана искомая емкость конденсатора C_x.

Очевидно, что при такой схеме диапазон измерений определяется пределами изменений емкости конденсатора $C_э$. Чтобы расширить этот диапазон, применяют схему на рис. 25,*б* для измерения бо́льших или схему на рис. 25,*в* для измерения меньших емкостей (на этих схемах изображен только измерительный контур).

В первом случае зажимы *1 — 1* вначале замыкаются, эталонный конденсатор $C_э$ устанавливается примерно в среднее положение и сигнал-генератор настраивается в резонанс с контуром. Затем зажимы *1 — 1* размыкаются и к ним присоединяется измеряемый конденсатор C_x. При этом общая емкость контура уменьшается и резонанс нарушается. Тогда увеличением емкости конденсатора $C_э$ вновь добиваются настройки измерительного контура в резонанс с частотой сигнал-генератора, замечают новое положение эталонного конденсатора $C_{э2}$ и определяют емкость конденсатора C_x по формуле

$$C_x = \frac{C_{э1} C_{э2}}{C_{э2} - C_{э1}}.$$

В схеме на рис. 25,*в* эталонный конденсатор $C_э$ сначала устанавливают тоже в среднее положение. Затем при отсоединенном от зажимов *1—1* измеряемом конденсаторе C_x производят настройку сигнал-генератора в резонанс с контуром $L_0 C_{э1}$. Когда это сделано, присоединяют к зажимам *1—1* конденсатор C_x и уменьшают емкость эталонного конденсатора до значения $C_{э2}$, при котором измерительный контур вновь будет настроен в резонанс с частотой сигнал-генератора. Измеряемая емкость конденсатора

$$C_x = C_{э1} - C_{э2}.$$

Для увеличения остроты настройки, а значит, и точности фиксации момента резонанса связь между сигнал-генератором и измерительным контуром должна быть возможно слабее.

В качестве измерительного контура при измерении емкости резонансным методом может быть использован контур гетеродинного индикатора резонанса или куметра (о куметре и измерении добротности конденсатора см. § 8).

8. ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Для измерения индуктивности могут применяться те же методы, что и для измерения емкости. Но если при измерении емкости конденсатора частота, на которой производится измерение, хотя и играет роль, но незначительную, то при измерении индуктивности получить верные результаты можно только при измерении на рабочей частоте катушки. Это объясняется тем, что, помимо индуктивности, катушка обладает еще собственной емкостью и активным сопротивлением, т. е. при измерении индуктивности по существу измеряют действующее значение индуктивности, зависящее от значений емкости и активного сопротивления. И емкость и активное сопротивление катушки сильно зависят от частоты, на которой работает катушка. Если рабочая частота катушки выше частоты, на которой производились измерения, то в результате увеличения влияния емкости, поверхностного эффекта, увеличения потерь в материале катушки и т. п. действующее значение индуктивности значительно изменится по сравнению с измеренным.

Метод измерения индуктивности при помощи мостов (например, УМ-3) дает точность порядка 1—3%. Частота, на которой производится измерение, обычно равна 1 000 *гц*. Мостовым методом чаще всего измеряется индуктивность катушек, работающих на низких частотах, а также на частотах длинноволнового, реже средневолнового диапазона. В последнем случае при оценке результата измерения следует учитывать собственную емкость катушки, которая при измерении на частоте 1 000 *гц* почти не сказывается. Кроме того, контурные катушки обычно снабжаются магнетитовыми или другими подобными им сердечниками, а также экранами. Поэтому производить измерение индуктивности следует при установленном в рабочее положение сердечнике и надетом экране.

Метод вольтметра-амперметра применяется только при измерении больших индуктивностей (при измерении малых индуктивностей пришлось бы пропускать через катушку очень большой ток). Обычно этим методом измеряют индуктивности обмоток низкочастотных дросселей, трансформаторов и т. п. на частоте 50 (в качестве источника используется осветительная сеть), 400 или 1 000 *гц* (в качестве источника используется звуковой генератор).

Схема измерения показана на рис. 26. В качестве миллиамперметра *mA* используется термоэлектрический

прибор, а вольтметр V лучше всего применить ламповый. Индуктивность катушки

$$L_x = \frac{U}{6{,}28fI},$$

где L_x — индуктивность, *гн*;

f — частота, *гц*;

U — показания вольтметра, *в*;

I — показания миллиамперметра, *а*.

Методом вольтметра-амперметра можно измерить полное сопротивление Z катушки индуктивности L_x. Приборы включаются по схеме на рис. 26. Например, таким способом можно измерить сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на рабочей частоте или даже снять

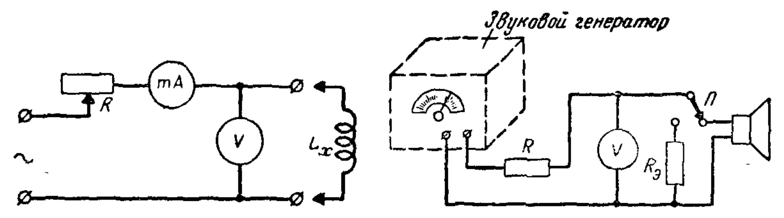


Рис. 26. Схема измерения индуктивности методом вольтметра-амперметра.

Рис 27. Схема измерения сопротивления звуковой катушки громкоговорителя методом замещения.

частотную характеристику этого сопротивления. Для этого на входные зажимы схемы подают напряжение от звукового генератора (типа ЗГ-2А). Измерения производят на частотах от 20—30 *гц* до 200—400 *гц*. В начале диапазона частоту звукового генератора изменяют через 5—10 *гц*, а затем через 30—50 *гц*. Сопротивление катушки вычисляется по формуле

$$Z = \frac{U}{I}.$$

Сопротивление катушки индуктивности в зависимости от частоты можно измерить и методом замещения. Схема измерения сопротивления звуковой катушки громкоговорителя этим методом показана на рис. 27. В качестве сопротивления $R_э$ используется магазин эталонных сопротивлений. Сопротивление R должно быть в 10—20 раз больше сопротивления звуковой катушки громкоговорителя по по-

стоянному току. Процесс измерения заключается в том, чтобы, изменяя значение эталонного сопротивления $R_э$, добиться одинаковых показаний вольтметра V при обоих положениях переключателя $П$. В этом случае величина сопротивления звуковой катушки громкоговорителя будет численно равна значению эталонного сопротивления $R_э$.

При измерении индуктивности катушек со стальным сердечником, работающих с подмагничиванием, необходимо учитывать, что в результате протекания через их обмотку тока подмагничивания происходит насыщение сердечника.

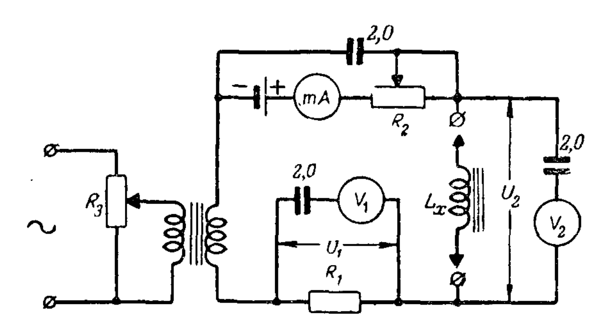


Рис. 28. Схема измерения индуктивности катушек со стальным сердечником, работающих с подмагничиванием.

При этом значение действующей индуктивности катушки резко уменьшается. Поэтому для измерения индуктивности таких катушек методом вольтметра-амперметра через их обмотку надо пропустить как переменный, так и постоянный ток (рис. 28). Переменная составляющая, проходящая через катушку L_x, измеряется вольтметром V_1. Сопротивление R_1 выбирается таким, чтобы падение напряжения на нем было достаточным для измерения его вольтметром. Искомую индуктивность вычисляют по формуле

$$L_x = \frac{U_2 R_1}{6{,}28 f U_1},$$

где L_x — индуктивность, *гн*;
U_1 и U_2 — напряжения, *в*;
R_1 — сопротивление, *ом*;
f — частота, *гц*.

Ток подмагничивания регулируется реостатом R_2 по миллиамперметру, а ток переменной составляющей $I = U_2/R_1$ при помощи потенциометра R_3 устанавливается равным току через катушку в рабочих условиях. В схеме на рис. 28 вместо двух вольтметров можно обойтись одним, измеряя напряжения U_1 и U_2 поочередно.

Методом вольтметра-амперметра можно измерять взаимную индуктивность катушек, например в резонансных и полосовых усилителях. Для этого в цепь одной из катушек включают термоэлектрический миллиамперметр, а параллельно другой катушке подключают ламповый вольтметр (рис. 29). Взаимная индуктивность определяется по формуле

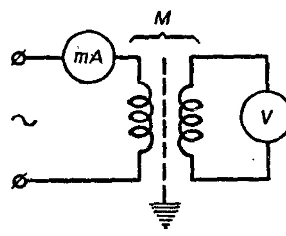


Рис. 29. Схема включения приборов для измерения взаимоиндуктивности методом вольтметра-амперметра.

$$M \approx \frac{U}{6{,}28fI},$$

где U — напряжение, *в*;
I — ток, *ма*;
f — частота, *кгц*.

Чтобы избежать значительных ошибок, следует по возможности уменьшать частоту, на которой производятся измерения; во всяком случае она должна быть много меньше собственной частоты катушки. Кроме того, чтобы уменьшить емкостную связь между катушками, между ними, если это возможно, надо установить электростатический экран.

При всех описанных выше измерениях индуктивности вначале следует убедиться, что в катушке нет короткозамкнутых витков. Наиболее просто это можно сделать, поместив испытываемую катушку вблизи настроенного колебательного контура (в случае проверки высокочастотных катушек). Если в катушке есть короткозамкнутые витки, то произойдет резкое нарушение резонанса индикаторного колебательного контура. Например, если в качестве индикатора применяется радиоприемник, то при поднесении к его контуру катушки с короткозамкнутыми витками произойдет резкое уменьшение громкости принимаемой радиостанции. Следует только учитывать, что такое уменьшение громкости может произойти и в том случае, если испытываемая катушка исправна, но частота контура приемника близка к собственной частоте катушки. По-

этому описанное испытание следует производить дважды, настраивая радиоприемник на разные частоты.

Отсутствие или наличие короткозамкнутых витков в низкочастотных катушках индуктивности можно определить специальным прибором. Испытываемую катушку *1* надевают на сердечник *3* специального трансформатора (рис. 30). На обмотку возбуждения *2* через сопротивление, в качестве которого может быть использована обычная лампа накаливания, подается напряжение от сети переменного тока. Параллельно сопротивлению подключается вольтметр. Если в испытываемой катушке есть короткозамкнутые витки, то протекающий через них ток вызывает уменьшение магнитного потока в сердечнике трансформатора прибора. Это понижает полное сопротивление обмотки возбуждения, и показание вольтметра увеличивается.

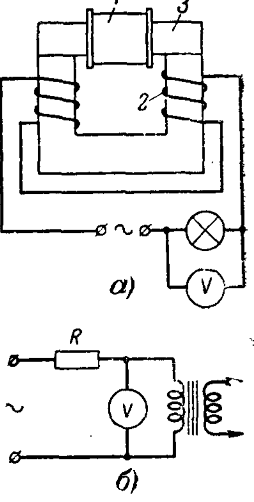


Рис. 30. Испытание низкочастотных катушек на отсутствие короткозамкнутых витков.

а — специальным прибором; *б* — при помощи лампового вольтметра.

Испытание обмоток низкочастотных и силовых дросселей и трансформаторов с собранным сердечником можно произвести по схеме, приведенной на рис. 30,*б*. Последовательно с первичной обмоткой трансформатора включается сопротивление *R* порядка 5 *ком* (для низкочастотных трансформаторов) или лампа накаливания (для силовых трансформаторов). На обмотку подается переменное напряжение (для низкочастотных трансформаторов с частотой 400—500 *гц*), равное удвоенному номинальному напряжению. Если в обмотках трансформатора нет короткозамкнутых витков, то напряжение, измеряемое ламповым вольтметром *V*, будет мало отличаться от приложенного напряжения. При короткозамкнутых витках измеряемое напряжение вследствие уменьшения индуктивного сопротивления обмотки окажется значительно меньше приложенного.

Определить параметры низкочастотных катушек с относительно большими индуктивностями (катушки трансформаторов, дросселей и пр.) можно и осциллографическим методом, сущность которого состоит в сравнении

фазы и амплитуды синусоидального напряжения на исследуемой индуктивности и безындукционном сопротивлении. Сравнение это производится на экране осциллографа.

Вначале необходимо выравнить сдвиг фаз и чувствительность усилителей осциллографа по вертикали и горизонтали. Это делается при помощи схемы, показанной на рис. 31. Частота питающего генератора должна быть такой же, на какой будет производиться измерение. Изменяя величину сопротивления R, добиваются, чтобы эллипс

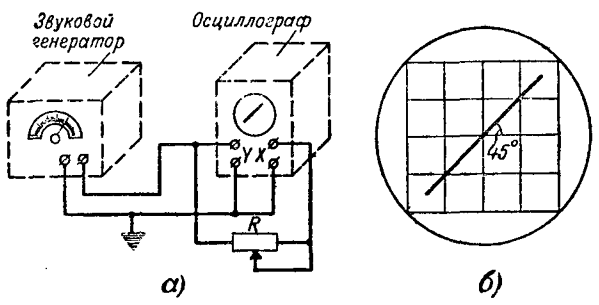


Рис. 31. Регулирование сдвига фаз и чувствительности усилителей осциллографа по вертикали и горизонтали.

а — принципиальная схема; *б* — осциллограмма, которая должна появиться на экране при полностью сбалансированных усилителях.

на экране осциллографа превратился в прямую линию. Затем, регулируя усиление вертикального и горизонтального усилителей, ориентируют эту линию под углом 45° (рис. 31,*б*). Если при этом она снова превратится в узкий эллипс, то следует вновь подрегулировать сопротивление R и т. д.

Схема для измерения индуктивности катушек осциллографическим методом приведена на рис. 32,*а*. Здесь C — конденсатор известной емкости, а R — калиброванный магазин безындукционных сопротивлений. При помощи сопротивления R устанавливают вертикальный размер осциллограммы, удобный для отсчета. Изменяя частоту генератора, добиваются появления на экране осциллографа прямой линии (рис. 32,*б*), что соответствует моменту наступления резонанса, и индуктивность L катушки подсчитывают по формуле

$$L \approx \frac{25\,300}{f^2 C},$$

где L — индуктивность, *мгн*;

C — емкость, *мкф*;

f — частота, *гц*.

Для облегчения определения резонансной частоты желательно, чтобы выходное сопротивление генератора было велико по сравнению с полным сопротивлением измеряемой катушки на резонансной частоте. В противном

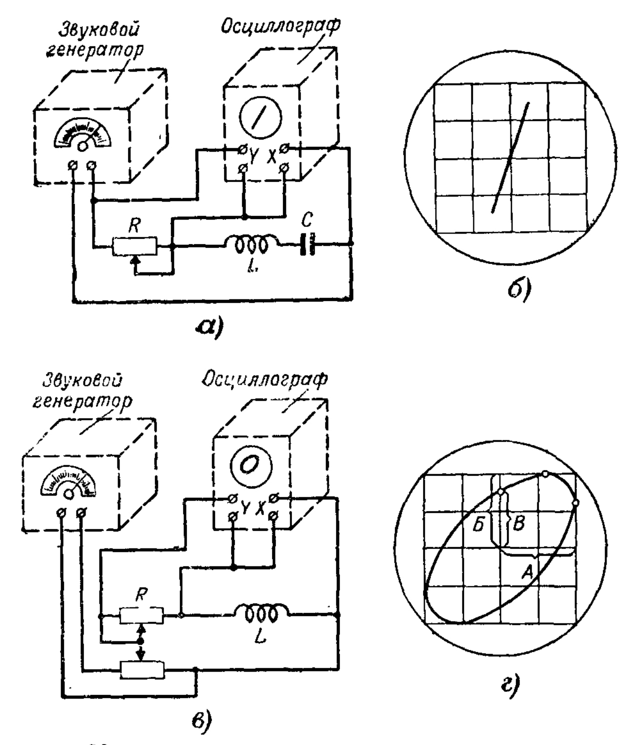


Рис. 32. Измерение параметров катушек индуктивности осциллографическим методом.

а — схема измерения индуктивности; *б* — получающаяся осциллограмма; *в* — схема измерения распределенной емкости катушки, полного сопротивления Z и угла φ; *г* — получающаяся осциллограмма.

случае прямой линии на экране осциллографа при наступлении резонанса не получится и определить момент наступления резонанса будет трудно. То же самое может случиться и при работе со слишком большим выходным напряжением генератора.

Чтобы определить полное активное сопротивление катушки, надо так подобрать сопротивление R, чтобы вертикальное и горизонтальное отклонения на экране были равны между собой. В этом случае величина сопротивления R будет численно равна действующему сопротивлению катушки.

Распределенная емкость катушки может быть определена при помощи схемы на рис. 32,*в*. Изменяя частоту генератора, добиваются наступления резонанса и, определив, таким образом, резонансную частоту f, а также зная из предыдущих измерений индуктивность катушки L, подсчитывают распределенную емкость по формуле

$$C_0 \approx \frac{25\,300}{f^2 L},$$

где C_0 — емкость, *мкф*;
L — индуктивность, *гн*;
f — частота, *гц*.

По этой же схеме может быть произведено измерение полного сопротивления Z катушки и определен угол φ. Для этого, установив нужную частоту генератора, регулировкой его выходного напряжения добиваются, чтобы горизонтальное отклонение A (рис. 32,*г*) приняло удобное для отсчета значение. Затем регулировкой сопротивления R добиваются такого же по величине вертикального отклонения $Б$. В этом случае падение напряжения на сопротивлении R равно падению напряжения на полном сопротивлении катушки, т. е. $R=Z$.

Величина угла φ определяется по форме осциллограммы на экране осциллографа. При $\cos\varphi=1$ осциллограмма превращается в прямую линию с наклоном 45°, а при $\cos\varphi=0$ — в правильный круг. Во всех остальных случаях осциллограмма имеет форму эллипаса (рис. 32,*г*) и угол φ определяется как

$$\sin\varphi = \pm\frac{B}{Б}.$$

Описанный метод измерения параметров катушек индуктивности особенно удобен в тех случаях, когда нужно исследовать влияние различных факторов на параметры катушек, как, например, применение экранировки, введение сердечников различной формы и т. п.

Перейдем к резонансному методу измерения индуктивности. По существу он ничем не отличается от измерения

этим же методом емкости. Простейшая схема измерения приведена на рис. 33. Достоинство этого метода заключается в том, что измерение производится на рабочей частоте катушки, что очень важно в случае измерения индуктивности высокочастотных катушек. Искомую индуктивность находят по формуле

$$L_x = \frac{25\,300}{f^2 C},$$

где L_x — индуктивность, *мкгн*;

f — частота сигнал-генератора, *Мгц*;

C — суммарная емкость конденсаторов $C_э$ и $C_д$, *пф*.

Конденсатор $C_д$ включается в измерительный контур из следующих соображений. Обычно применяемые для этой цели конденсаторы переменной емкости имеют начальную емкость порядка 10—20 *пф*. Однако при такой малой начальной емкости конденсатора $C_э$ она может оказаться сравнимой с собственной емкостью катушки. Это приведет к большим погрешностям измерения. Поэтому в измерительный контур включают дополнительный конденсатор $C_д$, увеличивающий начальную емкость контура.

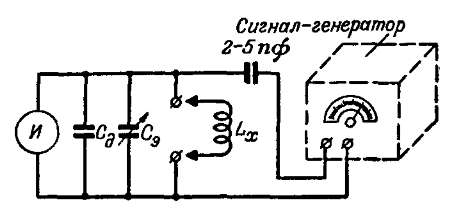


Рис. 33. Схема измерения индуктивности резонансным методом.

При помощи этой же схемы может быть определена и собственная емкость катушки. Для этого измерения производят дважды: на частотах f_1 и f_2. При этом по шкале эталонного конденсатора замечают показания $C_{э1}$ и $C_{э2}$. Собственная емкость катушки определяется по формуле

$$C_L = \frac{C_{э2} f_2^2 - C_{э1} f_1^2}{f_1^2 - f_2^2},$$

где C_L, $C_{э1}$ и $C_{э2}$ — емкости, *пф*;

f_1 и f_2 — частоты, *Мгц*.

Для измерения индуктивности резонансным методом может быть использован гетеродинный индикатор резонанса. Процесс измерения при этом ничем не отличается от описанного выше.

При помощи той же схемы на рис. 33 можно измерить активное сопротивление катушки индуктивности методом вариации. Для этого в качестве индикатора *И* должен быть использован высокочастотный ламповый вольтметр. Кроме того, связь измерительного контура с сигнал-генератором должна быть индуктивной и очень слабой. Лучше всего если между катушками будет установлен электростатический экран. Сначала измеряют напряжение U_1 на контуре при настройке его в резонанс с частотой сигнал-генератора. Затем параллельно контуру включают известное сопротивление R (порядка 0,1 *Мом* при измерении катушек длинноволнового поддиапазона и 50 *ком* при измерении катушек средневолнового поддиапазона) и измеряют напряжение U_2 на контуре. Величина активного сопротивления определяется по формуле

$$r = \frac{L_x}{\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right) RC},$$

где r — сопротивление, *ом*;
L_x — индуктивность, *мкгн*;
U_1 и U_2 — напряжение, *в*;
C — суммарная емкость, *пф*;
R — сопротивление, *ом*.

Резонансным методом можно измерить и коэффициент связи катушек индуктивности. Для этого можно использовать гетеродинный индикатор резонанса. Индикатор с включенным высокочастотным генератором связывают с одной из измеряемых катушек. Параллельно этой катушке подключают небольшой конденсатор постоянной емкости. Затем при помощи гетеродинного индикатора измеряют резонансные частоты, сначала при разомкнутой (частота f_1), а затем при короткозамкнутой (частота f_2) второй катушке. Коэффициент связи определяется по формуле

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2}.$$

Таким способом можно измерить коэффициент связи в пределах 0,1—0,7. При меньшем коэффициенте частоты f_1 и f_2 мало отличаются одна от другой. При большем коэффициенте резко падает добротность катушек при измере-

нии с закороченной второй катушкой. В этом случае трудно точно определить частоту f_2.

Измерение резонансных частот f_1 и f_2 при помощи гетеродинного индикатора резонанса производится следующим образом. Прибор с включенным высокочастотным генератором подносят к контуру и, вращая его ручку настройки, следят за индикатором. В момент совпадения частоты высокочастотного генератора прибора и резонансной частоты измеряемого контура происходит «отсос» энергии из колебательного контура прибора в измеряемый контур. В этот момент индикатор прибора покажет минимум сеточного тока (или максимум анодного тока). Резонансная частота определяется по шкале прибора.

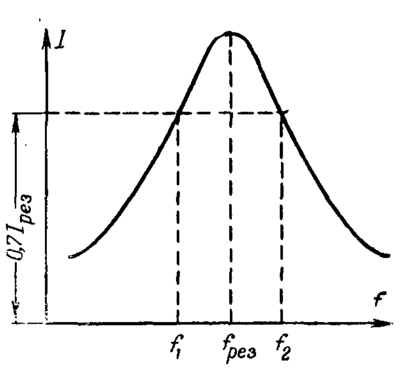


Рис. 34. Определение добротности высокочастотной катушки индуктивности по ее резонансной характеристике.

Резонансный метод позволяет измерить также добротность катушки и конденсатора, входящих в измерительный контур. Добротность колебательного контура определяется по его резонансной характеристике, выражающей зависимость тока в контуре от частоты. Для снятия резонансной характеристики можно воспользоваться схемой на рис. 33, включив в контур микроамперметр термоэлектрической системы. Резонансная характеристика контура показана на рис. 34.

Добротность контура определяется по формуле

$$Q = \frac{f_{рез}}{f_2 - f_1},$$

где $f_{рез}$ — резонансная частота контура;

f_1 и f_2 — частоты, определяемые по резонансной характеристике на уровне $0,7 I_{рез}$.

Конденсатор, входящий в колебательный контур, обычно высокого качества. Поэтому вычисленную добротность можно считать величиной добротности катушки индуктивности этого контура.

Добротность колебательного контура может быть опре-

делена и при помощи осциллографа. Для этого контур возбуждается импульсом, полученным от генератора развертки осциллографа. При таком возбуждении контура в нем возникают затухающие колебания, причем скорость затухания определяется добротностью контура, главным образом добротностью катушки индуктивности. Измерив на экране осциллографа (рис. 35) амплитуду соседних периодов затухающих колебаний, можно определить добротность по формуле

$$Q = \frac{1{,}36}{\lg \frac{A}{Б}}.$$

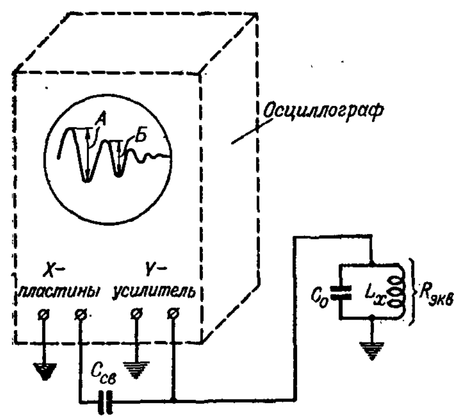


Рис. 35. Определение добротности катушки индуктивности осциллографическим методом.

При составлении колебательного контура из измеряемой катушки индуктивности L_x и конденсатора C_0 емкость последнего следует выбирать такой, чтобы собственная частота образованного контура была равна рабочей частоте измеряемой катушки индуктивности.

Емкость конденсатора связи $C_{св}$ вместе с эквивалентным сопротивлением контура $R_{экв}$ образует дифференцирующую цепочку, которая формирует остроконечный импульс для возбуждения контура. Емкость этого конденсатора должна составлять приблизительно 5% емкости конденсатора C_0.

Если добротность измеряемой катушки индуктивности велика, то амплитуды соседних периодов будут отличаться незначительно. В этом случае измеряют амплитуды второго и четвертого или второго и шестого периодов, соответственно умножая на 2 или 4 величину добротности, вычисленную по приведенной выше формуле.

Точность измерения добротности высокочастотных катушек индуктивности описанным осциллографическим методом невелика, так как измерения не могут быть произведены на рабочих частотах катушек. Поэтому этот метод может быть рекомендован только для сравнения (какая из катушек выше по добротности).

Существуют специальные приборы для измерения добротности, так называемые куметры (например, типов КВ-1 и УК-1). Измерение добротности при помощи этих приборов основано на том, что напряжение на контуре при резонансе в Q раз превосходит напряжение, приложенное к контуру.

Куметр состоит из высокочастотного генератора, измерительного контура, лампового высокочастотного вольтметра для измерения напряжения на контуре и термоэлектри-

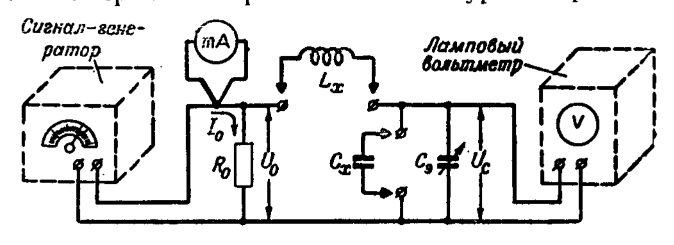


Рис. 36. Схема куметра.

ческого амперметра для измерения тока в контуре. Если в распоряжении радиолюбителя нет куметра, то можно «составить» куметр из перечисленных приборов по схеме на рис. 36.

Когда схема составлена, сигнал-генератор настраивают в резонанс с измерительным контуром. При этом напряжение высокой частоты вводится в измерительный контур через безындукционное сопротивление $R_0=0,03$ и 0,05 *ом*. Напряжение высокой частоты может быть определено по показанию миллиамперметра:

$$U_0=I_0R_0,$$

где U_0 — напряжение, *в*;

I_0 — ток через сопротивление R_0, *а*.

Ток, возникающий в измерительном контуре, создает падение напряжения на конденсаторе $C_э$, измеряемое вольтметром V и определяемое величиной входного высокочастотного напряжения U_0 и величиной активного сопротивления контура, которое на высоких частотах в основном определяется сопротивлением потерь катушки. Поэтому выходное напряжение на контуре выразится формулой

$$U_C=QU_0.$$

Измеряя ламповым вольтметром напряжение U_C, а миллиамперметром — ток I_0, а следовательно, и напряжение U_0, можно определить значение добротности катушки:

$$Q = \frac{U_C}{U_0}.$$

В куметрах добротность определяется непосредственно по шкале вольтметра, так как обычно входное напряжение U_0 при всех измерениях устанавливается одной и той же величины. Точность измерения при этом достигает 5—10% и повышается при измерении катушек с высокой добротностью или большой собственной емкостью. С повышением частоты, на которой производится измерение, точность понижается вследствие уменьшения входного сопротивления вольтметра и увеличения наводок на измерительный контур. Для уменьшения наводок следует улучшить экранировку сигнал-генератора, а также экранировать измерительный контур, соединив его экран с экраном сигнал-генератора. Измеряемую катушку нужно присоединять жесткими короткими проводами, а ее экран соединить с экранами сигнал-генератора и измерительного контура. Если измеряемая катушка не имеет экрана, то при измерении ее надо отодвинуть от экрана измерительного контура.

Термоэлемент миллиамперметра включают непосредственно около сопротивления R_0 и соединяют его с измерительным прибором экранированным шнуром. Сопротивление R_0 лучше всего изготовить из манганиновой проволоки диаметром 0,03 *мм* и длиной 8 *мм*, припаяв ее к двум жестко закрепленным и изолированным толстым медным проводам.

Одновременно с измерением добротности при помощи куметра может быть измерена и индуктивность катушки, если конденсатор эталонной емкости $C_э$ проградуирован. То же относится и к измерению неизвестной емкости конденсатора. Для этого вместо катушки L_x к измерительному контуру присоединяется эталонная катушка индуктивности. Контур и сигнал-генератор настраиваются в резонанс, и измерение емкости производится обычным резонансным методом.

Можно также измерить и добротность конденсатора C_x. Для этого на сигнал-генераторе устанавливают рабочую

частоту, на которой надо измерить добротность конденсатора, а затем измерительный контур $L_э C_э$ настраивают в резонанс с этой частотой. При этом замечают значение $C_{э1}$ эталонного конденсатора и определяют обычным способом значение добротности Q_1 измерительного контура. Далее, параллельно эталонному конденсатору $C_э$ подключают измеряемый конденсатор C_x, и уменьшая емкость конденсатора $C_э$, вновь настраивают измерительный контур в резонанс с частотой сигнал-генератора. При этом получают новое значение $C_{э2}$ и Q_2.

Добротность конденсатора C_x определяют по формуле

$$Q_{Cx} = \frac{Q_1 Q_2 (C_{э1} - C_{э2})}{(Q_1 - Q_2) C_{э1}} .$$

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИСПЫТАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ

9. УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Работа усилителя низкой частоты (или низкочастотной части радиоприемника) характеризуется следующими параметрами: номинальной выходной мощностью при максимально допустимых нелинейных искажениях или нормальной выходной мощностью, составляющей 0,1 номинальной, коэффициентом усиления или чувствительностью усилителя, амплитудной и частотной характеристиками, пределом изменений громкости и пределом регулирования тембра и, наконец, уровнем фона.

Номинальной выходной мощностью называется максимальная мощность, которая может быть получена на выходе усилителя при максимально допустимой величине искажений выходного напряжения. Выражается она в вольт-амперах:

$$P_{ном} = \frac{U^2}{Z},$$

где U — напряжение на звуковой катушке громкоговорителя, *в*;

Z — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя, *ом* (с некоторым приближением Z можно заменить сопротивлением звуковой катушки постоянному току $R_{зв}$, *ом*).

Схема для измерения номинальной мощности приведена на рис. 37,*а*. В качестве звукового генератора может быть использован генератор типа ЗГ-2А, ЗГ-10 или ЗГ-11, а в качестве измерителя выхода — детекторный или ламповый вольтметр (например, ИВ-4). Измеритель нелинейных искажений может быть типа ИНИ-10М или лучше ИНИ-11.

Измерение номинальной мощности производится на

частоте 400 *гц*. Регулятор громкости усилителя устанавливают на максимальное усиление и начинают увеличивать выходное напряжение звукового генератора. Одновременно измеряют величину нелииейных искажений на выходе усилителя (см. § 3). В момент, когда нелинейные искажения сделаются максимально допустимыми, измеритель выхода укажет номинальное выходное напряжение усили-

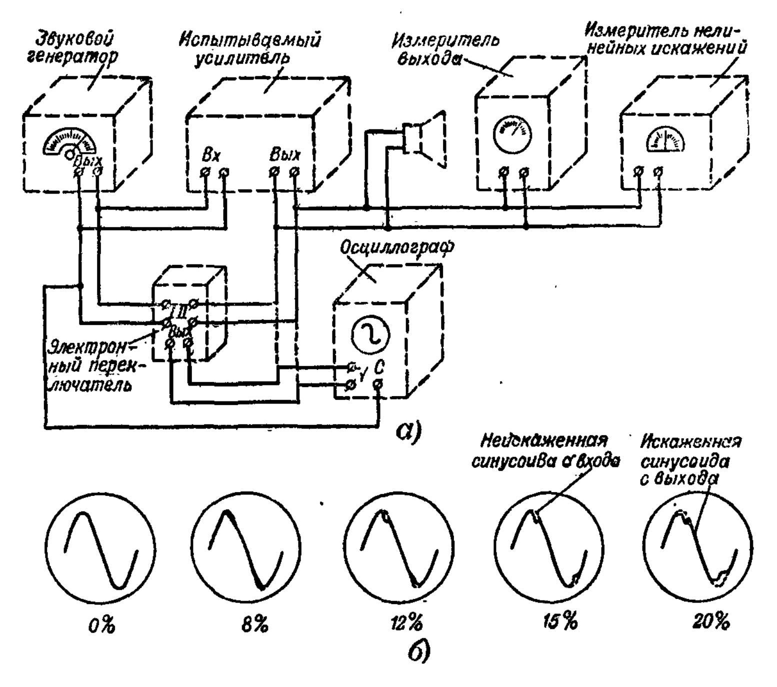


Рис. 37. Схема измерения параметров низкочастотных усилительных устройств (*а*) и осциллограммы (*б*), получающиеся при различных величинах нелинейных искажений на выходе.

теля. Подставив величину полученного напряжения в приведенную выше формулу, можно определить номинальную выходную мощность усилителя при данной величине нелинейных искажений. При этом следует иметь в виду, что напряжение на входе усилителя от звукового генератора не строго синусоидально, т. е. измеритель нелинейных искажений на выходе усилителя показывает суммарную величину нелинейных искажений, вносимых генератором и усилителем.

Одновременно с номинальной выходной мощностью можно определить и чувствительность усилителя. Для этого измеряется напряжение на входе усилителя (обычно измеряют напряжение на выходе звукового генератора вольтметром, имеющимся в генераторе), при котором на его выходе развивается напряжение, равное номинальному. Это напряжение и определяет чувствительность усилителя. Отношение же номинального напряжения на выходе усилителя к напряжению на его входе есть коэффициент усиления испытываемого усилителя.

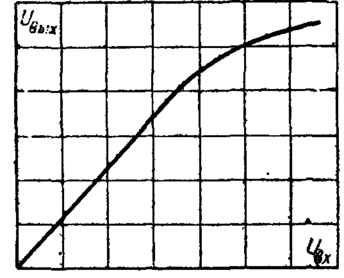


Рис. 38. Амплитудная характеристика низкочастотного усилителя.

Измеритель нелинейных искажений может быть заменен электронно-лучевым осциллографом. В этом случае о величине нелинейных искажений придется судить приближенно, по форме выходного напряжения на экране осциллографа (рис. 37,*б*). Определение этой величины значительно облегчится, если осциллограф двухлучевой или снабжен электронным переключателем (например, типа ЭК-1), так как при этом на экране будет одновременно видно изображение неискаженного (с входа усилителя) и искаженного (с выхода усилителя) сигналов. Включение осциллографа и электронного переключателя показано на рис. 37,*а*.

В процессе определения номинальной мощности можно снять амплитудную характеристику усилителя, позволяющую судить, насколько постоянен его коэффициент усиления при разных значениях амплитуды входного сигнала и неизменной частоте, равной 400 *гц*. Для этого измерение номинальной мощности начинают с некоторой минимальной величины напряжения на входе усилителя. Измеряют напряжение на входе и выходе усилителя, затем увеличивают напряжение на входе и снова измеряют напряжение на входе и выходе и т. д., до получения на выходе усилителя номинального напряжения. По полученным результатам строят амплитудную характеристику (рис. 38).

Одновременно определяют предел регулирования громкости. Для этого напряжение на входе усилителя (или, что то же, на выходе звукового генератора) устанавливают

таким, чтобы при положении регулятора громкости на максимуме усиления напряжение на выходе усилителя (на звуковой катушке громкоговорителя) было равно нормальному, т. е. 0,1 номинального. Частота входного напряжения при этом равна 400 *гц*. Отметив величину напряжения на входе, переводят регулятор усиления громкости в положение минимального усиления (положение, при котором сигнал еще прослушивается, но дальнейшее уменьшение громкости происходит скачком и сразу до нуля). После этого начинают увеличивать выходное напряжение звукового генератора до тех пор, пока напряжение на выходе усилителя снова станет равным нормальному. Отношение напряжений на входе усилителя при положениях регулятора громкости на максимуме и минимуме, выраженное в децибелах, оценит предел регулирования громкости.

Далее переходят к снятию частотной характеристики усилителя, которая позволяет судить о равномерности пропускания усилителем заданного диапазона частот. Для этого на вход усилителя подают такое напряжение от звукового генератора с частотой 400 *гц*, при котором выходная мощность усилителя составляет 0,25 номинальной. Регулятор громкости должен быть установлен в среднее положение, а регуляторы тембра — в положение наиболее широкой полосы пропускания. Затем, поддерживая напряжение на входе усилителя неизменным, изменяют частоту звукового генератора в обе стороны от частоты 400 *гц*: в сторону низших частот — через каждые 50—100 *гц*, а в сторону высших — вначале через каждые 100 *гц*, а после частоты 1 000 *гц* — через 500 *гц* и, наконец, после частоты 4 000 *гц* — через 1 000 *гц*. Одновременно с этим производят измерение выходного напряжения на каждой из этих частот. По полученным результатам строят частотную характеристику, принимая выходное напряжение усилителя на частоте 400 *гц* за единицу, т. е. по оси ординат откладывают отношение $U_{вых}/U_{вых\ 400\ гц}$, которое одновременно является показателем усиления на данной частоте по сравнению с усилением на частоте 400 *гц*. Усиление может быть также выражено в децибелах от усиления на частоте 400 *гц*, причем последнее принимается за нулевой уровень и ослабление усиления выражается в отрицательных децибелах. Частота по оси абсцисс обычно откладывается в логарифмическом масштабе.

Если в усилителе имеются регуляторы тембра, то частотную характеристику дополнительно снимают при их

различных крайних положениях. Заметим, что если требуется определить лишь пределы регулирования тембра, то достаточно определить усиление по отношению к усилению на частоте 400 *гц* только на частотах 100, 1 000 и 5 000 *гц*.

Примерная форма частотной характеристики при различных положениях регуляторов тембра приведена на рис. 39.

Если у радиолюбителя имеются граммофонные пластинки или магнитофонная лента с записью чистых тонов, например 400 *гц*, то их можно использовать вместо звукового генератора. Напряжение от проигрывателя или магнитофона следует подавать на вход усилителя через потенциометр, чтобы можно было регулировать входное напряжение. На входе усилителя должен быть включен ламповый вольтметр для измерения входного напряжения.

Остается определить уровень фона усилителя. Для этого замыкают накоротко входные зажимы усилителя и измеряют напряжение фона на звуковой катушке громкоговорителя (а при наличии антифонной катушки — на вторичной обмотке выходного трансформатора). Регуляторы громкости и тембра при этом должны быть установлены в положение наибольшего напряжения фона. Уровень фона определяется отношением измеренного напряжения фона к номинальному выходному напряжению и выражается в децибелах.

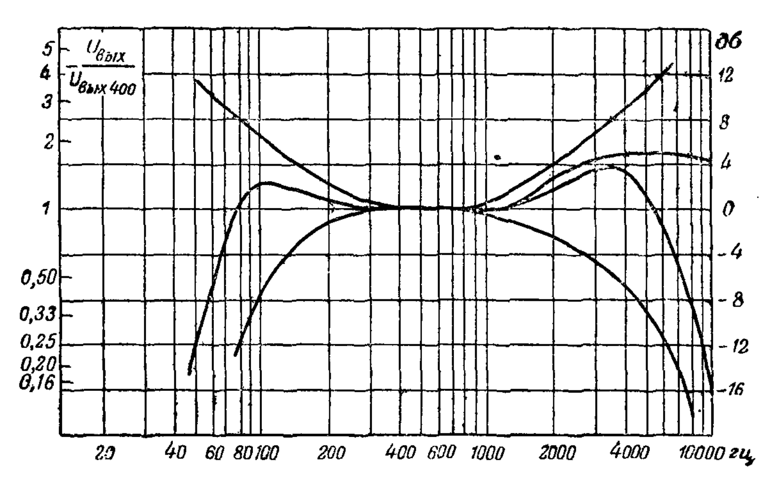


Рис. 39. Частотная характеристика низкочастотного усилителя при различных положениях регуляторов тембра.

Описанное испытание усилителя дает качественное и количественное представление о его работе. Однако если не требуется получение таких подробных сведений, а необходимо лишь составить общее представление о том, удовлетворительно ли работает усилитель и притом без точных количественных оценок, то можно воспользоваться методом испытания усилителя импульсами прямоугольной формы. Этот метод удобен тем, что дает возможность быстро определить, равномерно ли усиление в заданном

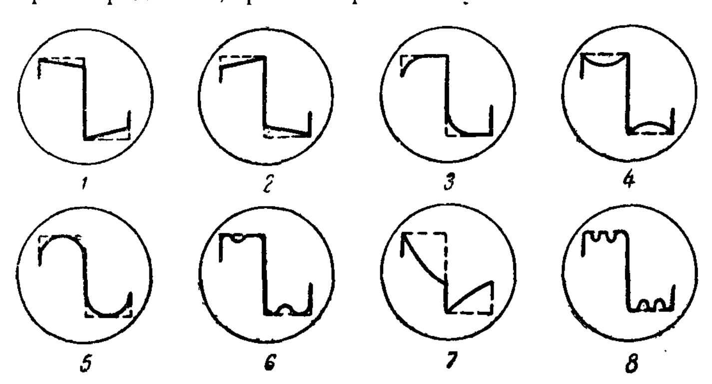


Рис. 40. Искажение формы прямоугольных импульсов на выходе усилителя низкой частоты.

1 и *2* — усилитель вносит фазовые искажения; *3* — снижение усиления на высших частотах; *4* — подъем усиления на верхних частотах; *5* — подъем усиления на нижних частотах; *6* — снижение усиления в узкой полосе частот; *7* — мала постоянная времени переходной цепи между каскадами; *8* — в усилителе имеются резонирующие цепи.

диапазоне частот и вносит ли усилитель фазовые искажения.

Схема испытания усилителя по такому методу остается прежней (рис. 37); из нее лишь исключаются измеритель выхода и измеритель нелинейных искажений. Напряжение прямоугольных импульсов на входе усилителя должно быть порядка 0,1—0,2 напряжения, необходимого для получения номинальной выходной мощности. Осциллограф при помощи электронного переключателя попеременно подключается ко входу и выходу усилителя. При этом на экране осциллографа одновременно видны изображения искаженного (с выхода усилителя) и неискаженного (со входа усилителя) прямоугольных импульсов. Это позволяет сравнить их и тем самым облегчает выявление искажений. Форма импульсов на выходе усилителя в зависимости от вносимых искажений показана на рис. 40.

Для проверки частотной характеристики усилителя в пределах от 50 *гц* до 8—10 *кгц* достаточно произвести испытание прямоугольными импульсами с частотами 50 и 800 *гц*.

10. СНЯТИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЕЙ МАГНИТОФОНА

Начнем с усилителя записи. Если же магнитофон имеет один универсальный усилитель, то сначала снимают его частотную характеристику в режиме записи. Для этого составляется схема, показанная на рис. 41. Для измерения тока в цепи записывающей головки можно использовать миллиамперметр термоэлектрической системы или ламповый вольтметр. В последнем случае в цепь записывающей головки *ГЗ* включается сопротивление *R*, падение напряжения на котором при прохождении через него тока записывающей головки и измеряется вольтметром. Величина этого сопротивления в случае типовой низкоомной записывающей головки составляет 20—50 *ом*, а в случае применения универсальной головки 150—200 *ом*.

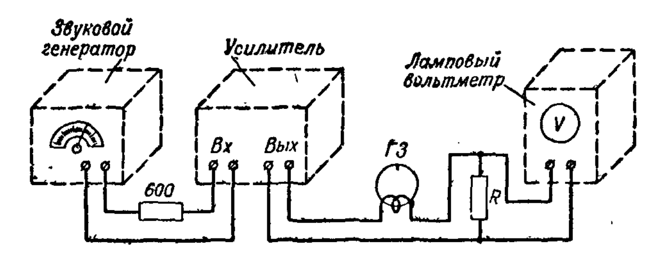


Рис. 41. Схема снятия частотной характеристики усилителя записи магнитофоиа.

Частотная характеристика обычно снимается при величине тока в записывающей головке 0,3—0,5 величины номинального тока (при котором намагниченность ленты максимальна), измеренного на частоте 1 000 *гц*. При снятии частотной характеристики ток подмагничивания выключается. Способ снятия характеристики обычен, т. е. изменяют частоту звукового генератора, поддерживая его выходное напряжение (напряжение на входе усилителя) неизменным, и отмечают ток записи на каждой частоте. По результатам измерений строится частотная характеристика.

Схема для снятия частотной характеристики усилителя воспроизведения приведена на рис. 42. Под частотной характеристикой этого усилителя понимают зависимость выходного напряжения от частоты при неизменной э. д. с. в цепи воспроизводящей головки *ГВ*. Напряжение на воспроизводящую головку подается от звукового генератора через делитель из сопротивлений R_1 и R_2. Сопротивления

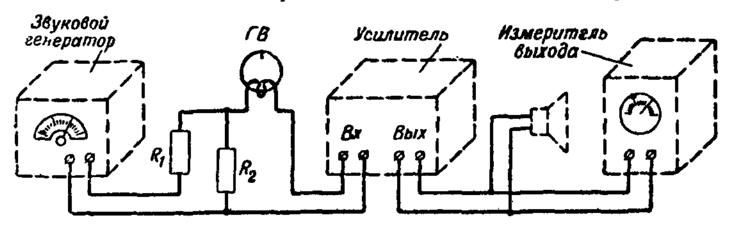


Рис. 42. Схема снятия частотной характеристики усилителя воспроизведения магнитофона.

устанавливаются непосредственно около воспроизводящей головки; экран головки при этом снимается. Напряжение на выходе генератора устанавливается таким, чтобы на средних частотах напряжение на выходе усилителя равнялось 0,1 максимального. В зависимости от типа головки оно обычно составляет 1—5 *мв*.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ИСПЫТАНИЕ РАДИОПРИЕМНИКА

Почти каждый радиоприемник содержит усилитель низкой частоты. Испытание этого усилителя проводится описанным выше методом до испытания высокочастотной части радиоприемника, причем входом усилителя считают гнезда звукоснимателя или сетку лампы первого каскада.

11. ДИАПАЗОН ПРИНИМАЕМЫХ ЧАСТОТ

Для определения диапазона принимаемых радиоприемником частот должна быть составлена схема, показанная на рис. 43. Приемник настраивается на крайние частоты поддиапазонов; затем на эти же частоты настраивается высокочастотный сигнал-генератор, в качестве которого может быть использован генератор типа ГСС-6, а при измерении в УКВ поддиапазоне — ГСС-17 или СГ-1. Настройка

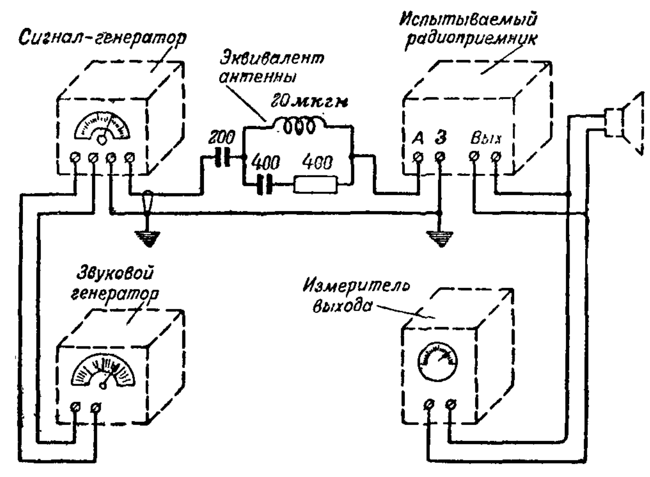


Рис. 43. Схема измерения параметров радиоприемника.

сигнал-генератора на частоту приемника производится по максимуму показаний измерителя выхода, в качестве которого может быть использован детекторный или ламповый вольтметр, осциллограф или измеритель выхода ИВ-4. При этом вначале высокочастотное модулированное напряжение на выходе сигнал-генератора устанавливают значительным и настраивают сигнал-генератор на частоту приемника грубо на слух, а затем это напряжение уменьшают и настраивают точно по максимуму показаний прибора на выходе приемника. Если у приемника имеется цепь АРУ, то ее следует выключить, так как ее действие затрудняет точную настройку. Если выключить АРУ нельзя, то настройку надо вести при возможно меньшей величине сигнала на входе приемника. Регулятор громкости приемника должен быть поставлен на максимум, а регулятор тембра и полосы частот — в положение самой узкой полосы.

Частоту настройки приемника определяют по шкале сигнал-генератора.

Одновременно можно проверить точность градуировки шкалы приемника. Для этого может быть использован тот же сигнал-генератор, однако лучше вместо него воспользоваться гетеродинным волномером (например, типа 528) или кварцевым калибратором (например, типа КК-6). Точность измерений в этом случае будет много выше.

О работе с гетеродинным волномером рассказано в § 4, работа же с кварцевым калибратором имеет ряд особенностей, так как от него получают не любую частоту в данном диапазоне, а только некоторые частоты, но зато точно определенные.

Для проверки при помощи кварцевого калибратора градуировки шкалы приемника прямого усиления его обратную связь устанавливают такой, чтобы в приемнике возникли колебания. Калибратор связывают с контуром приемника, и проверяют те точки шкалы, для которых имеются соответствующие гармоники в спектре частот, даваемом калибратором. Для этого приемник настраивают точно на эти частоты по нулевым биениям на его выходе. Чтобы убедиться, действительно ли приемник настроен на данную частоту (гармонику) калибратора, нажимают кнопку «Контроль» на калибраторе. При правильной настройке приемника звук на его выходе при этом пропадает.

При проверке градуировки супергетеродинного приемника частота кварцевого калибратора должна быть моду-

лирована (если в приемнике нет второго гетеродина для приема незатухающих колебаний). Модуляция производится частотой 50 *гц*, для чего в кварцевом калибраторе типа КК-6 аноды ламп переключаются на питание от сети переменного тока.

Погрешность градуировки шкалы приемника выражается отношением разности частот, прочитанных на шкалах приемника и калибрующего устройства, к частоте сигнала в процентах. Измерения производятся не менее чем для двух точек каждого поддиапазона, причем эти точки должны отстоять на 10—20% от начала и конца шкалы.

Заметим, что при отсутствии у радиолюбителя сигнал-генератора или хотя бы гетеродинного индикатора резонанса диапазон частот приемника можно примерно определить по принимаемым приемником радиостанциям, если известны их частоты. Этим же способом может быть проверена и градуировка шкалы приемника.

12. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Схема соединения приборов остается прежней (рис. 43). Вначале измеряется уровень собственных шумов приемника.

Собственный внутренний шум приемника вызывается хаотическим движением электронов в деталях схемы, дробовым эффектом в лампах, фоном переменного тока и т. п. Уровень шумов определяется напряжением на звуковой катушке громкоговорителя при максимальном усилении низкочастотной части приемника.

Измеряется уровень шумов следующим образом. Регулятор громкости приемника устанавливается на максимальное усиление. На вход приемника через эквивалент антенны подают модулированные частотой 400 *гц* высокочастотные колебания с глубиной модуляции 30% (нормальная глубина модуляции). Приемник настраивают на эту частоту, и напряжение на выходе сигнал-генератора устанавливают таким, чтобы напряжение на выходе приемника равнялось нормальному. Затем выключают модуляцию высокочастотного напряжения и измеряют напряжение на выходе приемника, т. е. измеряют напряжение шумов. Далее, отключают сигнал-генератор, замыкают вход приемника накоротко и снова измеряют напряжение шумов на его выходе.

Такие измерения производят на каждом поддиапазоне в одной или нескольких точках шкалы. Величину шума обычно выражают в децибелах по отношению к нормальному выходному напряжению приемника. Результаты измерений наносят на график, по которому судят об изменении уровня шумов в зависимости от частоты настройки приемника.

После этого переходят к измерению чувствительности приемника, используя для этого ту же схему (рис. 43). Сигнал-генератор настраивают на нужную частоту. Высокочастотное напряжение должно быть нормально модулировано, т. е. частотой 400 *гц* и глубиной 30%. Приемник настраивают на частоту сигнал-генератора по максимальному показанию измерителя выхода.

Если измеренное ранее напряжение шумов на выходе приемника меньше его нормального выходного напряжения по крайней мере на 20 *дб* (меньше в 10 раз), то определение чувствительности производится следующим образом. Регулятор громкости приемника устанавливается на максимальное усиление, а напряжение на выходе сигнал-генератора подбирают таким, чтобы напряжение на выходе приемника сделалось равным нормальному. При этом напряжение на выходе сигнал-генератора (на входе приемника) будет численно равно чувствительности приемника на данной частоте. Измерение производят по крайней мере на трех точках каждого поддиапазона, причем крайние частоты должны отстоять на расстояние 10—20% от начала и конца шкалы поддиапазона. По результатам измерений строится график зависимости чувствительности приемника от частоты (рис. 44). Обычно для удобства график строят в логарифмическом масштабе.

Если нормальное выходное напряжение приемника меньше чем в 10 раз превышает уровень шумов приемника, то измерение чувствительности производится несколько иначе. В этом случае после настройки приемника на частоту сигнал-генератора выключают модуляцию высокочастотных колебаний и регулятором громкости устанавливают напряжение шумов на выходе приемника таким, чтобы оно было меньше нормального выходного напряжения в 10 раз (на 20 *дб*). Затем включают модуляцию сигнал-генератора и подбирают такое напряжение на его выходе (на входе приемника), при котором напряжение на выходе приемника равнялось бы нормальному. Регулятора громкости приемника при этом не трогают. Напряжение на выходе сигнал-

генератора в этом случае будет численно равно чувствительности приемника с учетом его собственных шумов.

При измерении чувствительности регуляторы тембра и полосы частот (если он есть в приемнике) должны стоять в положении, соответствующем ослабленному воспроизведению высоких и низких звуковых частот. АРУ приемника желательно выключить.

Измерение чувствительности приемника с частотной модуляцией на ультракоротковолновом поддиапазоне производится тем же методом. Однако в этом случае вместо эквивалента антенны ко входу приемника подключают

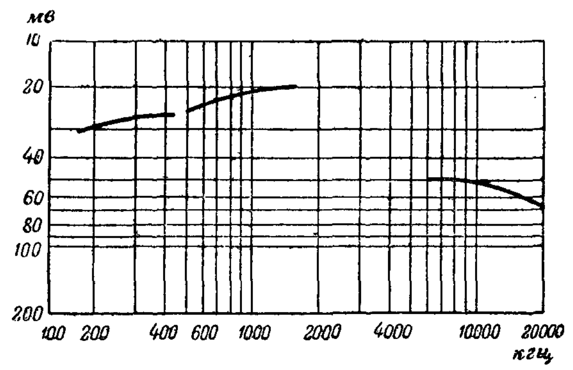


Рис. 44. Характеристика чувствительности приемника по поддиапазонам.

активное сопротивление, величина которого вместе с выходным сопротивлением сигнал-генератора должна быть равна сопротивлению УКВ антенны. Обычно это сопротивление равно 75 *ом*. Девиация частоты должна составлять ± 15 *кгц*, а частота модуляции 1 000 *гц*.

Если приемник предназначен для работы с внутренней магнитной антенной, то эта антенна включается на вход приемника и измерение чувствительности производится при помощи квадратной рамки из медного или латунного прутка диаметром 4 *мм* со сторонами 380 *мм*. Рамка соединяется со входом сигнал-генератора через сопротивление 80 *ом*. Плоскость рамки располагается перпендикулярно оси стержня магнитной антенны, а расстояние между рамкой и серединой стержня составляет 1 *м*.

Описанным методом нельзя измерять чувствительность сверхрегенеративного приемника, так как измерению будет мешать шум сверхрегенеративного детектора. Этот

шум настолько велик, что он может превысить уровень сигнала.

Шум сверхрегенератора имеет максимальное значение при отсутствии высокочастотного напряжения на входе приемника. При появлении высокочастотного напряжения шум уменьшается, причем чем выше напряжение на входе, тем меньше шум. Кроме шума, на выходе приемника может присутствовать еще и напряжение дробящей частоты (20—200 *кгц*). При измерении чувствительности напряжение с этой частотой может быть подавлено *RC*-фильтром. Чтобы проверить, есть ли на выходе приемника напряжение дробящей частоты, составляют схему, показанную на рис. 45, которая в дальнейшем используется и для измерения чувствительности. Если на выходе приемника имеется напряжение дробящей частоты, то показания измерителя выхода не меняются при изменении величины выходного напряжения сигнал-генератора или изменении глубины модуляции этого напряжения, так как прибор измеряет напряжение дробящей частоты, а не высокочастотного сигнала.

Когда установлено, что напряжение дробящей частоты отсутствует, чувствительность радиоприемника определяют следующим образом. Настраивают сигнал-генератор на нужную частоту (модуляция при этом выключена). Величину выходного напряжения сигнал-генератора берут достаточно большой, и приемник настраивают в резонанс с сигнал-генератором. В момент точной настройки приемника напряжение на его выходе должно заметно понизиться, так как уменьшится шум сверхрегенерации. После этого выходное напряжение сигнал-генератора уменьшают до 10—20 *мкв* и замечают показания измерителя выхода

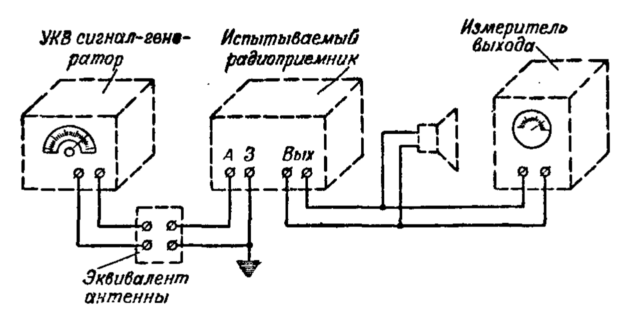


Рис. 45. Схема измерения чувствительности сверхрегенеративного приемника.

приемника. Затем включают модуляцию частоты сигнал-генератора, устанавливают ее глубину в 30% при частоте модуляции 1 000 *гц*. Напряжение на выходе приемника при этом увеличивается.

Теперь вычисляют отношение напряжения на выходе приемника при немодулированном и модулированном высокочастотном напряжении на его входе. Опытами установлено, что наилучшее качество воспроизведеиия будет при отношении этих напряжений 1 : 5 Поэтому если полученное отношение не равно 1 : 5, то несколько изменяют величину выходного напряжения сигнал-генератора и снова производят указанное измерение.

Чувствительность сверхрегенеративного приемника будет численно равна выходному напряжению сигнал-генератора при отношении этих напряжений 1 : 5.

При измерении чувствительности, а также других измерениях, связанных с подачей на вход приемника малых по амплитуде высокочастотных колебаний, надо принять меры по уменьшению «пролезания» высокочастотного напряжения в приемник помимо кабеля, соединяющего сигнал-генератор со входом приемника. Иначе напряжение, непосредственно наводимое генератором на вход приемника, будет складываться с напряжением, подводимым ко входу приемника через кабель. Поэтому прибор, измеряющий величину напряжения на выходе сигнал-генератора с учетом коэффициента деления делителя, покажет лишь часть высокочастотного напряжения, в действительности существующего на входе приемника, т. е. результаты измерения чувствительности будут завышены.

«Пролезание» высокой частоты вследствие несовершенства экранировки сигнал-генератора можно обнаружить при помощи чувствительного приемника, к зажиму «Антенна» которого присоединен гибкий провод. Свободный конец этого провода прикрепляется к палочке из изоляционного материала. Касаясь этим концом разных мест корпуса сигнал-генератора, частота которого модулирована, можно по появлению или увеличению тона модуляции на выходе приемника-индикатора установить наличие «пролезания» сигнала, а также место, где это происходит.

Некоторое «пролезание» высокочастотного сигнала всегда есть даже у генераторов с весьма хорошей экранировкой. Поэтому, чтобы уменьшить паразитную наводку высокочастотного иапряжения на вход приемника, сигнал-генератор следует располагать подальше от приемника (на

длину кабеля). Кроме того, при измерениях следует учитывать возможные паразитные поля, индустриальные помехи и т. п.

Особенно тщательно следует производить заземление сигнал-генератора и приемника, так как, например, при отсутствии заземления через паразитные емкости корпуса сигнал-генератора и приемника на землю протекают токи, которые могут создавать падение напряжения на участках схемы, влияя тем самым на точность измерений.

13. ИЗМЕРЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ И ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

Избирательность приемника характеризуется его способностью выделять из спектра частот ту частоту, на которую он настроен. Оценивается избирательность величиной, показывающей, во сколько раз ухудшается чувствительность приемника к сигналу, частота которого отличается на ± 10 *кгц* (при амплитудной модуляции) от частоты, на которую настроен приемник. При частотной модуляции величина этой расстройки равна ± 250 *кгц*. Такая избирательность называется избирательностью по соседнему каналу.

Кроме того, у супергетеродинного приемника есть еще два вида избирательности: избирательность по зеркальному каналу, т. е. по отношению к сигналу, частота которого отличается от частоты настройки приемника на удвоенную промежуточную частоту, и избирательность по отношению к сигналу, частота которого равна промежуточной частоте приемника.

Схема для измерения избирательности та же, что и для измерения чувствительности приемника (рис. 43). Обычно принято измерять избирательность по соседнему каналу у приемников с амплитудной модуляцией на каждом поддиапазоне или на частотах 250 и 1 000 *кгц*. Поэтому сигнал-генератор настраивают на одну из этих частот, а затем на ту же частоту по максимальному напряжению на выходе настраивается и приемник. Описанным выше методом измеряют чувствительность на данной частоте.

Затем изменяют частоту сигнал-генератора на 10 *кгц*, например в сторону уменьшения частоты, и подбирают такую величину выходного напряжения сигнал-генератора, при которой напряжение на выходе приемника вновь становится равным нормальному, т. е. измеряют чувствительность при расстройке приемника на 10 *кгц*. Отношение

этой измеренной чувствительности к чувствительности при точной настройке приемника на данную частоту (к резонансной чувствительности) выраженное в децибелах, даст величину ослабления приема по соседнему каналу.

После этого частоту сигнал-генератора увеличивают на 10 *кгц* относительно частоты, на которую настроен приемник, и проводят те же измерения. Окончательно за величину ослабления приема по соседнему каналу принимают наименьший результат.

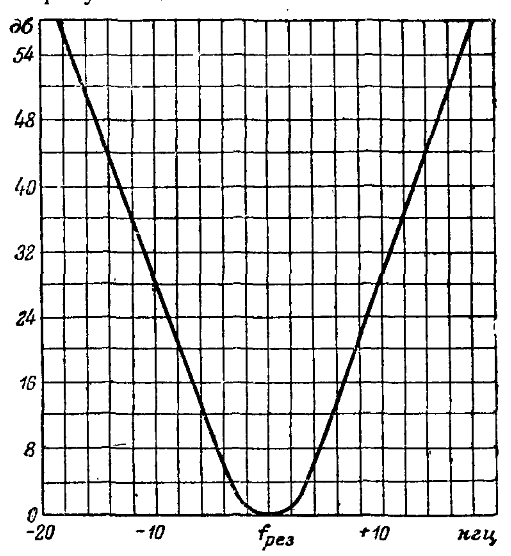


Рис. 46. Характеристика избирательности приемника.

Если по условиям испытания требуется снять характеристику избирательности приемника, то после определения его чувствительности на резонансной частоте частоту сигнал-генератора изменяют интервалами в 2 *кгц* до тех пор, пока чувствительность приемника не станет хуже примерно в 1 000 раз. По полученным при этом результатам строят характеристику избирательности (рис. 46).

По характеристике избирательности можно определить полосу пропускания приемника, т. е. интервал частот, на границах которого чувствительность приемника ухудшается в 2 раза по сравнению с резонансной. Если характеристика избирательности не снимается, то полосу пропускания можно определить одновременно с измерением избирательности. Для этого после определения чувствитель-

ности приемника на резонансной частоте напряжение на выходе сигнал-генератора увеличивают в 2 раза и изменяют его частоту (последовательно в обе стороны от резонансной) до тех пор, пока напряжение на выходе приемника не сделается опять нормальным. Разность частот, прочитанных на шкале сигнал-генератора, будет равна полосе пропускания приемника. Если в приемнике имеется регулятор полосы пропускания, то эти измерения производятся для каждого положения регулятора.

Далее переходят к измерению избирательности по зеркальному каналу. Эти измерения отличаются от измерения избирательности по соседнему каналу только тем, что частота сигнал-генератора изменяется в этом случае на величину, равную удвоенной промежуточной частоте, причем если частота гетеродина приемника выше частоты на которую настроен приемник, то частоту сигнал-генератора увеличивают, а если частота гетеродина ниже этой частоты, то частоту сигнал-генератора уменьшают. Отношение чувствительности приемника при расстройке на удвоенную промежуточную частоту к чувствительности приемника на резонансной частоте, выраженное в децибелах, показывает величину ослабления приема по зеркальному каналу.

Измерения чувствительности по зеркальному каналу обычно производят на тех же частотах, что и измеречия избирательности по соседнему каналу.

При этом следует иметь в виду, что наихудшая избирательность по зеркальному каналу будет в коротковолновой части поддиапазона, где отношение $2f_{пр}/f_{настр}$ имеет минимальное значение, и поэтому наименее эффективным будет влияние избирательности высокочастотных контуров.

Остается измерить чувствительность приемника к сигналам, частота которых равна промежуточной, т. е. определить избирательность приемника по отношению к сигналам на промежуточной частоте. Для этого приемник настраивают на частоту, возможно более близкую к промежуточной: на крайнюю верхнюю частоту длинноволнового или крайнюю нижнюю частоту средневолнового диапазона (обычно это частоты 415 или 520 *кгц* для промежуточной частоты 460 *кгц*). Затем в резонанс с приемником настраивают сигнал-генератор и, как обычно, производят измерение чувствительности на этой частоте. После этого сигнал-генератор настраивают на промежуточную частоту приемника и его выходное напряжение увеличивают настолько, что-

бы напряжение на выходе приемника сделалось равным нормальному. Отношение измеренных чувствительностей, выраженное в децибелах, даст искомую величину ослабления.

При измерении избирательности приемника на УКВ поддиапазоне с частотной модуляцией частота, на которой производится измерение, равна 70 *Мгц*, а величина расстройки относительно резонансной составляет ±250 *кгц*. В качестве выходного индикатора используется ламповый вольтметр, включенный в цепь сетки лампы ограничительного каскада. Это делается для того, чтобы исключить влияние работы ограничителя на результаты измерений.

Измерения производятся следующим образом. Сигнал-генератор (типа ГСС-17 или СГ-1) настраивается на частоту 70 *Мгц* и в резонанс с ним настраивается приемник. Частота сигнал-генератора немодулирована, а амплитуда ее выбирается такой, чтобы ни приемник, ни ламповый вольтметр не перегружались. Отмечают показания лампового вольтметра и изменяют частоту сигнал-генератора на 250 *кгц* в какую-либо сторону от частоты настройки приемника. Увеличением выходного напряжения сигнал-генератора добиваются прежних показаний лампового вольтметра в цепи сетки лампы ограничителя. Отношение величины первоначального выходного напряжения сигнал-генератора к величине выходного напряжения при расстройке на 250 *кгц*, выраженное в децибелах, даст искомую величину ослабления чувствительности по соседнему каналу. Далее, производится подобное же измерение при расстройке в другую сторону от частоты настройки приемника.

Если по условиям испытания требуется снять характеристику избирательности, то после настройки сигнал-генератора и приемника в резонанс и отметки показаний лампового вольтметра выходное напряжение сигнал-генератора увеличивают в 2 раза. Затем изменяют частоту сигнал-генератора в какую-либо сторону от резонансной до тех пор, пока показания лампового вольтметра не сделаются прежними. Отмечают величину расстройки сигнал-генератора по отношению к частоте настройки приемника, а затем увеличивают выходное напряжение сигнал-генератора в 10 раз по отношению к первоначальной величине выходного напряжения и снова изменяют его частоту до тех пор, пока не добьются прежних показаний лампового вольтметра. Замечают новую величину расстройки и увеличивают выходное напряжение сигнал-генератора, теперь уже в 100 раз,

и т. д. После этого производят измерения по другую сторону от резонансной частоты. По результатам измерений строят характеристику избирательности в децибелах.

При всех измерениях блок автоподстройки частоты, если он есть в приемнике, должен быть выключен.

14. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАСКАДОВ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Описанные выше методы получения данных о чувствительности и избирательности приемника отличаются точностью, но требуют большой затраты времени. Кроме того, они неудобны при налаживании приемника, так как после каждой регулировки контуров приходится вновь снимать по точкам его резонансную кривую.

Налаживание приемника значительно облегчается и ускоряется при применении осциллографического метода

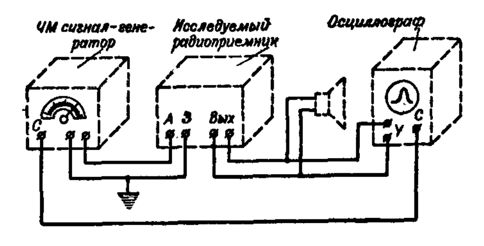


Рис. 47. Схема осциллографирования резонансной характеристики приемника.

исследования. Этот метод дает возможность в процессе налаживания все время наблюдать на экране осциллографа резонансную кривую, причем всякое изменение в схеме, всякая регулировка настройки немедленно отражаются на экране, т. е. видно, как это влияет на форму резонансной кривой, ее симметричность, ширину пропускания, избирательность и чувствительность.

Осциллографический метод исследования заключается в том, что на вход исследуемого приемника (рис. 47) от специального генератора (если его нет, то можно применить сигнал-генератор ГСС-6 с приставкой РК-1) подается частотно-модулированный сигнал, т. е. такой сигнал, частота которого не остается постоянной, а изменяется на несколько десятков килогерц в обе стороны от средней частоты. Частота развертки осциллографа должна быть равна частоте частотной модуляции и синхронизирована с

ней. Напряжение на нагрузке детектора, которое после усиления подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографической трубки, по мере приближения частоты генератора к резонансной частоте промежуточных каскадов увеличивается, а после прохождения частотой генератора этой частоты уменьшается. На экране осциллографа при этом появится изображение резонансной характеристики каскадов промежуточной частоты исследуемого приемника. Осциллограф присоединяется к нагрузке детектора через сопротивление 0,2—0,5 *Мом*. Очень удобно использовать для подобного метода исследования и настройки приемника прибор ИЧХ-1, представляющий собой сочетание генератора качающейся частоты с осциллографом.

Однако установка по схеме на рис. 47 не дает возможности получать количественные данные об амплитуде исследуемой характеристики и ее частотном диапазоне. Для получения этих сведений в схему установки должны быть введены амплитудиый и частотный калибраторы (рис. 48).

Принцип действия амплитудного калибратора заключается в следующем. Переключателем, в качестве которого может быть использовано устройство типа электронного переключателя для одновременного наблюдения двух осциллограмм, испытываемый приемник поочередно и периодически подключается либо к сигнал-генератору, дающему сигналы определенной амплитуды, либо к частотно-модулированному сигнал-генератору.

Частота развертки осциллографа подбирается такой, что прямой ход совершается за период изменения частоты частотно-модулированного сигнал-генератора от минимума до максимума. При этом луч вычерчивает на экране кривую резонансной характеристики исследуемого приемника, который в это время присоединен к частотно-модулированному сигнал-генератору. При обратном ходе развертки испытываемый приемник присоединяется к сигнал-генератору постоянной частоты и луч прочерчивает на экраие прямую линию, которая может перемещаться вверх и вниз при изменении положения выходного делителя сигнал-генератора постоянной частоты и совмещаться с любой точкой резонансной характеристики. Таким образом, разность уровней (в децибелах) между любыми двумя точками резонансной характеристики может быть отсчитана по шкале делителя этого генератора.

Чтобы эта калибрующая прямая была хорошо видна на экране, длительность обратного хода развертки должна

быть значительной, т. е. форма напряжения развертки осциллографа желательна не пилообразная, а треугольная. Частота переключения должна быть синхронизирована с частотой частотной модуляции.

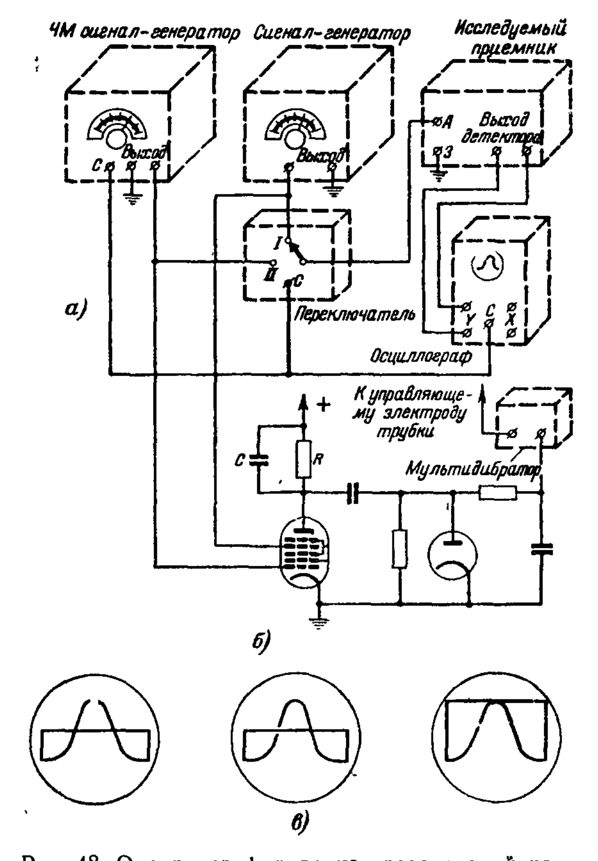


Рис. 48. Осциллографирование резонансной характеристики радиоприемника с использованием амплитудного и частотного калибраторов.

а — схема установки для осциллографирования; *б* — схема частотного калибратора; *в* — осциллограммы, иллюстрирующие методику пользования калибраторами.

Для получения данных о частотных координатах резонансной кривой, получаемой на экране осциллографа, на эту кривую наносится частотная метка в виде темного разрыва, указывающая то место кривой, в которой частота

сигнала, даваемого частотно-модулированным сигнал-генератором, совпадает с частотой, на которую настроен сигнал-генератор постоянной частоты.

Для нанесения частотной метки используется частотный калибратор (рис. 48,*б*), работающий следующим образом. Когда частота частотно-модулированного сигнал-генератора приближается к частоте сигнал-генератора постоянной частоты, на анодном сопротивлении *R* смесительной лампы происходит падение напряжения с частотой биений. Благодаря тому, что емкость шунтирующего конденсатора *C* велика, амплитуда этого напряжения будет возрастать с понижением частоты биений и пройдет через максимум, когда частоты обоих сигнал-генераторов сравняются. Напряжение с анода лампы смесителя после детектирования подается на ждущий мультивибратор и запускает его в момент совпадения частот. При этом мультивибратор генерирует короткий отрицательный импульс, который подается на управляющий электрод трубки, давая на осциллограмме частотную метку. Изменяя частоту сигнал-генератора постоянной частоты, можно менять и частоту, при которой на осциллограмме появляется частотная метка; частота метки определяется по шкале сигнал-генератора.

Осциллограмма на рис. 48,*в* иллюстрирует методику пользования амплитудным и частотным калибраторами. Слева представлена осциллограмма резонансной характеристики при установке частотной метки в положение средней частоты пропускания приемника (предположим, что частота, отмеченная меткой, равна 460 *кгц*), а амплитудной линии — в произвольное положение. На средней осциллограмме показано положение, соответствующее определению данных для некоторой точки на боковой ветви резонансной характеристики с частотой 455 *кгц*. Делитель сигнал-генератора постоянной частоты в этом случае устанавливается в такое положение, чтобы амплитудная линия проходила через центр частотной метки. Предположим, что такое положение получается при установке делителя в положение, соответствующее уровню выходного сигнала 3 *дб*. Затем амплитудная линия совмещается с верхним уровнем резонансной кривой, как это показано на правой осциллограмме. Положение делителя при этом соответствует 12 *дб*. Разница между положениями делителя 12—3=9 *дб* показывает, что усиление приемника на частоте 455 *кгц* на 9 *дб* меньше, чем на средней частоте 460 *кгц*.

15. ИСПЫТАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА

Частота гетеродина приемника во время его работы изменяется. Это вызывается прогревом ламп, сопротивлений, изменением теплового режима и т. п. Изменение частоты гетеродина особенно интенсивно происходит в первое время после включения приемника. Поэтому изменение частоты гетеродина определяется двумя отсчетами его частоты, производимыми один через 5 *мин* после включения приемника, а другой через 15 *мин*.

Замеры частоты гетеродина производятся при помощи гетеродинного волномера, слабо связанного с гетеродином приемника. Для этого провод со входа волномера обматывается вокруг лампы гетеродина или укрепляется рядом с его катушкой. Приемник настраивается на высшую частоту каждого поддиапазона. Волномер настраивается на частоту гетеродина по нулевым биениям.

Разность между замеренными частотами дает величину ухода частоты гетеродина приемника.

16. ИСПЫТАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

Для оценки работы автоматической регулировки усиления (АРУ) надо снять амплитудную характеристику приемника, представляющую собой зависимость выходного напряжения от величины входного.

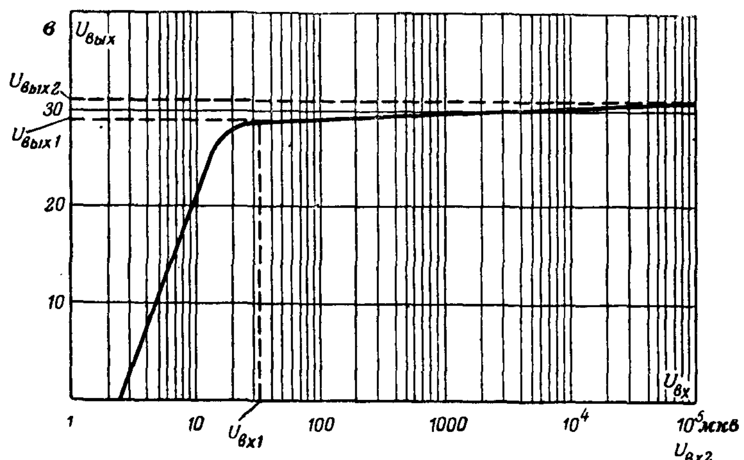


Рис. 49. Амплитудная характеристика радиоприемника с АРУ.

Обычно испытание работы АРУ начинают с подачи на вход приемника высокочастотного напряжения с нормальной модуляцией и амплитудой 0,1 *в*. Приемник настраивают в резонанс с частотой сигнал-генератора, и регулятором громкости устанавливают номинальное напряжение на его выходе. Далее, начинают уменьшать напряжение на выходе сигнал-генератора и замечают значения напряжения на выходе приемника. По полученным данным строят амплитудную характеристику приемника (рис. 49), откладывая напряжения на входе приемника в логарифмическом масштабе.

Работа АРУ будет характеризоваться отношением

$$\frac{U_{вых2} - U_{вых1}}{U_{вх2} - U_{вх1}}.$$

Это отношение обычно выражается в децибелах.

Испытание работы АРУ производится в каждом поддиапазоне.

17. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ И ЧАСТОТНОГО ДЕТЕКТОРА

Схема для снятия характеристики амплитудного ограничителя приведена на рис. 43 (с учетом включения соответствующего эквивалента антенны, см. стр. 76). На вход приемника подается модулированное высокочастотное напряжение (1 000 *гц* с девиацией частоты 30% от максимальной). Приемник настраивают в резонанс с частотой сигнал-генератора (ГСС-17). Установив уровень выходного напряжения сигнал-генератора достаточно большим (больше порога ограничения), постепенно уменьшают его, измеряя одновременно напряжение на выходе приемника. По результатам измерений строят характеристику работы амплитудного ограничителя.

Одновременно определяют величину ослабления паразитной амплитудной модуляции. Для этого на вход приемника подается высокочастотное напряжение с нормальной частотной модуляцией, соответствующее по величине номинальной чувствительности приемника на УКВ поддиапазоне. Приемник настраивается на эту частоту и регулятором громкости напряжение на его выходе устанавливается равным нормальному.

После этого на вход приемника подается такое же по величине высокочастотное напряжение, но с амплитудной модуляцией (1 000 *гц*; 0,3). Изменяя несущую частоту на ±50 *кгц*, измеряют напряжение на выходе приемника. Отношение напряжения на выходе приемника при приеме ЧМ сигналов к максимальному выходному напряжению при приеме АМ сигналов, выраженное в децибелах, и есть величина ослабления паразитной амплитудной модуляции.

Для снятия характеристики частотного детектора в цепь сетки лампы последнего каскада усилителя проме-

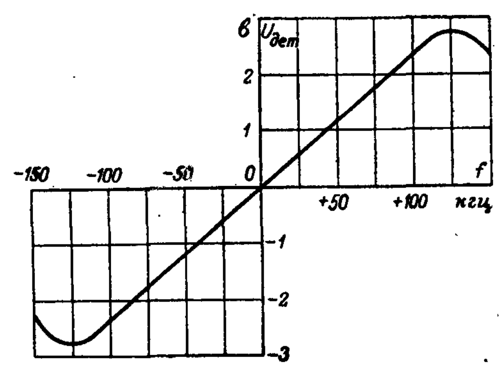


Рис. 50. Характеристика частотного детектора.

жуточной частоты или лампы амплитудного ограничителя, если он имеется в приемнике, включают сигнал-генератор (например, ГСС-6), настроенный на промежуточную частоту приемника. Напряжение на выходе сигнал-генератора устанавливается таким, чтобы оно не превышало порога ограничения.

На выходе частотного детектора включают высокоомный вольтметр постоянного тока или чувствительный гальванометр, желательно с нулем в центре шкалы.

Далее, изменяют частоту сигнал-генератроа в обе стороны от промежуточной частоты на 100—120 *кгц* и через каждые 10—20 *кгц* замечают показания прибора на выходе детектора. По результатам измерений строят характеристику частотного детектора (рис. 50).

Эту характеристику можно получить и осциллографическим методом. Для этого частота сигнал-генератора

должна быть частотно модулирована с девиацией частоты ±100—200 *кгц*. К выходу детектора присоединяется усилитель вертикального отклонения осциллографа. Частота развертки осциллографа синхронизируется с частотой модуляции сигнал-генератора. При этом на экране осциллографа возникает характеристика частотного детектора.

Очень удобно для осциллографирования характеристики частотного детектора использовать прибор ПНТ-2, работающий на том же принципе.

18. СНЯТИЕ КРИВОЙ ВЕРНОСТИ

Качество приемника в конечном итоге определяется тем, как он воспроизводит модулирующий сигнал. При этом на качество воспроизведения оказывает влияние весь тракт приемника (от входных цепей до усилителя низкой частоты и громкоговорителя). Поэтому, чтобы составить полное представление о способности приемника воспроизводить модулирующий сигнал, снимают так называемую кривую верности, представляющую собой зависимость величины звукового давления, создаваемого громкоговорителем приемника, от частоты модуляции высокочастотного напряжения, поданного на его вход. В любительских условиях невозможно снять кривую верности по звуковому давлению, так как для этого необходимы специальная студия, сложная и дорогая аппаратура и т. п. Однако и зависимость выходного напряжения от частоты модуляции высокочастотного напряжения может дать некоторое представление о кривой верности приемника.

Схема установки для снятия указанной кривой представлена на рис. 43. Модуляция частоты сигнал-генератора осуществляется внешним звуковым генератором, подключаемым к зажимам «Внешняя модуляция». Кривую снимают для каждого поддиапазона.

Вначале приемник настраивают в резонанс с частотой сигнал-генератора, которая должна быть модулирована частотой 400 *гц* с глубиной модуляции 0,3 (при ЧМ модуляции девиация частоты составляет ±15 *кгц*). Регулятором громкости устанавливают напряжение на выходе приемника равным 0,25 номинального. Регуляторы тембра и полосы пропускания устанавливают в положение наиболее широкой полосы.

После этого изменяют частоту модуляции в заданном диапазоне звуковых частот, отмечая показания измерителя выхода приемника. При этом следят, чтобы высокочастотное напряжение на выходе сигнал-генератора, его частота, глубина модуляции и настройка приемника остались неизменными. По полученным результатам строят в логарифмическом масштабе кривую верности, причем по оси ординат откладывают отношение выходного напряжения приемника при данной частоте модуляции в децибелах.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ИСПЫТАНИЕ ТЕЛЕВИЗОРА

Обычно телевизор состоит из блока приема изображения, блока приема звукового сопровождения и блока развертки с устройством синхронизации. Испытания усилителей промежуточной и низкой частот блока приема звукового сопровождения ничем не отличаются от испытаний этих каскадов в радиоприемнике. Поэтому в этой главе они не рассматриваются.

19. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДЕОУСИЛИТЕЛЯ

Для снятия частотной характеристики видеоусилителя сигнал-генератор (типа ГСС-6) подключается через сопротивление 2—3 *ком* либо параллельно нагрузке детектора (при диодном детекторе), причем сам детектор отключается, либо к сетке лампы детектора (при анодном детекторе), причем сетка отсоединяется от контура. Модуляция сигнал-генератора должна быть выключена.

В качестве измерителя выхода используется ламповый вольтметр, который подключается к выходу видеоусилителя (обычно к модулирующему электроду или катоду трубки) через конденсатор емкостью 5 *пф*. Сигнал-генератор настраивается на частоту 100 *кгц* и его выходное напряжение устанавливается таким, чтобы выходное напряжение видеоусилителя составляло 3—5 *в*. Замечают показание вольтметра на выходе видеоусилителя и изменяют частоту сигнал-генератора сначала до 400, потом до 1 000 *кгц*, а затем через каждые 500 *кгц*. При этом уровень выходного напряжения сигнал-генератора поддерживают неизменным и отмечают показания вольтметра на выходе видеоусилителя на каждой из частот. Частоту сигнал-генератора изменяют до тех пор, пока напряжение на выходе видеоусилителя не сделается равным 0,5 напряжения на частоте 1—2 *Мгц*.

По результатам измерений строят характеристику видеоусилителя. Частотный масштаб обычно берут логарифмическим (рис. 51).

Частотную характеристику в полосе частот ниже 100 *кгц* можно снять таким же способом, но удобнее проверить работу видеоусилителя на этих частотах при помощи прямоугольных импульсов и осциллографа (рис. 52). При этом одновременно можно проверить и его фазовую характеристику. Чтобы испытать видеоусилитель в области низких частот, надо пропустить через него прямоугольные импульсы с частотой 50 *гц*. Если же частоту

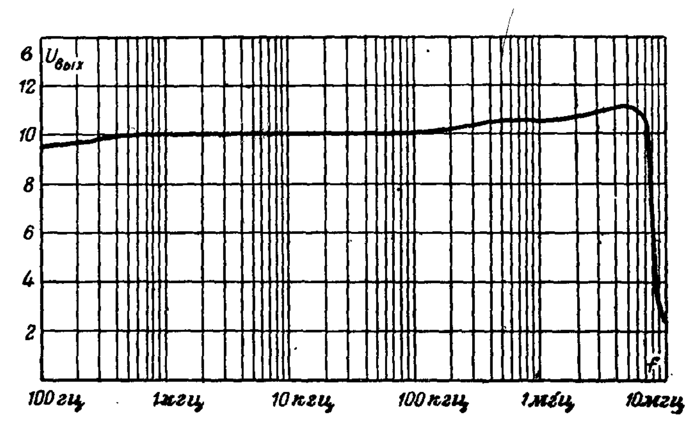


Рис. 51. Частотная характеристика видеоусилителя телевизора.

импульсов увеличить до 100—200 *кгц*, то можно произвести испытание видеоусилителя и на высоких частотах.

Испытания видеоусилителя прямоугольными импульсами позволяют сразу определить, превышают или нет искажения прямоугольных импульсов допустимую величину. Для этого у выходного импульса, изображение которого получено на экране осциллографа, измеряют время установления $t_у$ и время спада $t_с$, а также величины выброса $У_в$ и завала $У_з$ и выражают их в процентах по отношению к амплитуде импульса. При испытании усилителя прямоугольными импульсами низкой частоты определяют только величину завала $У_з$, так как время нарастания и спада определить невозможно (оно при этой частоте пренебрежимо мало по сравнению с длительностью импульса) и, кроме

того, трудно получить прямоугольный импульс низкой частоты с крутым фронтом. Величину спада следует считать нормальной, если она не превышает $5^0/_0$, так как в этом случае она мало отражается на качестве телевизионного

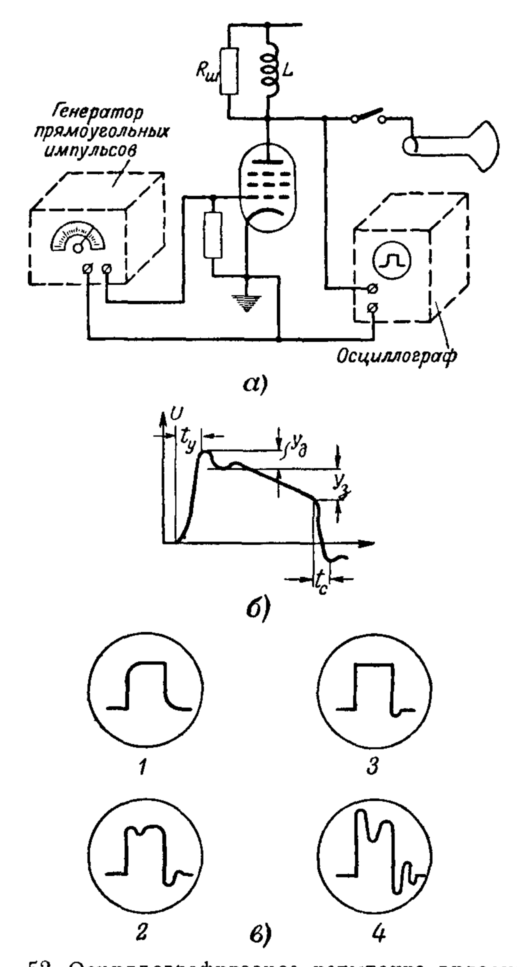


Рис. 52. Осциллографическое испытание видеоусилителя при помощи прямоугольных импульсов.

а — схема установки для испытания; *б* — элементы искажения прямоугольного импульса; *в* — осциллограммы искаженных импульсов.

1 — катушка *L* закорочена; *2* — несколько излишний подъем верхних частот в видеоусилителе (выброс может быть сглажен подбором $R_ш$); *3* — правильная настройка *L* и $R_ш$; *4* — излишний подъем верхних частот.

изображения. То же относится и к величине выброса. Если же величина спада или выброса превысит 5%, то искажения изображения станут уже заметными, а главное ухудшится синхронизация развертки.

Следует отметить, что проверка видеоусилителя прямоугольными импульсами с частотой 50 *гц* становится ненужной, если видеоусилитель собран по схеме усилителя постоянного тока, т. е. не содержит переходных емкостей. В этом случае исключается возможность появления низкочастотных искажений.

Кроме частотной характеристики, часто снимают еще амплитудную характеристику видеоусилителя, показывающую зависимость напряжения на выходе видеоусилителя от напряжения на его входе (рис. 53). Амплитудная характеристика в области рабочих напряжений телевизионной трубки должна быть линейной, иначе различие между светлыми и темными местами воспроизводимого изображения будет искажено.

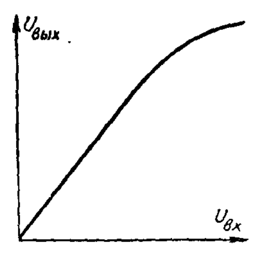


Рис. 53. Амплитудная характеристика видеоусилителя телевизора.

Для снятия этой характеристики сигнал-генератор настраивается на частоту 1—2 *Мгц* и снимается зависимость напряжения на выходе видеоусилителя от напряжения на его входе. Включение сигнал-генератора и измерителя выхода (лампового вольтметра) производится по той же схеме, что и при снятии частотной характеристики.

20. СНЯТИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ ВИДЕОКАНАЛА

Для снятия этой характеристики сигнал-генератор через конденсатор емкостью 200 *пф* присоединяется к управляющей сетке лампы смесителя; сетка лампы предварительно отсоединяется от контура и через сопротивление 3—5 *ком* соединяется с шасси. Лампа гетеродина телевизора при этом должна быть вынута либо с нее должно быть снято анодное напряжение. В качестве сигнал-генератора может быть использован генератор типа ГСС-17 или СГ-1.

Измерителем выхода может служить высокоомный вольтметр постоянного тока, подключенный к нагрузке детектора.

Снятие частотной характеристики производят следующим образом. Настраивают сигнал-генератор на несущую промежуточной частоты (в большинстве телевизоров эта частота равна 34,25 *Мгц*) и устанавливают глубину модуляции 0,3. Замечают показания вольтметра, подключенного к нагрузке детектра, а затем изменяют частоту сигнал-генератора в сторону ее уменьшения на 500—1 000 *кгц* и снова замечают показания вольтметра. Напряжение на выходе сигнал-генератора должно быть при этом неизменным. Изменять частоту сигнал-генератора продолжают до частоты 28—27 *Мгц*. Затем возвращаются к частоте 34,25 *Мгц* и проверяют начало частотной характеристики усилителя промежуточной частоты (изменяют частоту сигнал-генератора в сторону увеличения через 200—300 *кгц*). По результатам измерений строится частотная характеристика усилителя промежуточной частоты видеоканала (рис. 54).

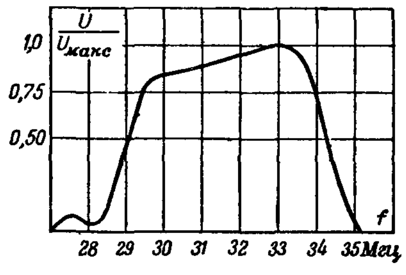


Рис. 54. Частотная характеристика усилителя промежуточной частоты видеоканала телевизора.

Частотная характеристика усилителя промежуточной частоты может быть получена и осциллографическим путем при помощи генератора качающейся частоты или прибора 102И и осциллографа. Еще более удобно воспользоваться для этой цели прибором ПНТ-2, работающим по тому же принципу. Напряжение от генератора качающейся частоты подается через сопротивление 5—10 *ком* на управляющую сетку лампы смесителя (схема телевизора подготавливается так же, как и для снятия характеристики по точкам при помощи сигнал-генератора и измерителя выхода). Осциллограф присоединяется к нагрузке детектора через сопротивление 0,1 *Мом*. Диапазон и ширина качания частоты генератора должны быть выбраны такими, чтобы захватить частоты 27—35 *Мгц* при несущей частоте 34,25 *Мгц*. На экране осциллографа при этом возникает изображение частотной характеристики усилителя промежуточной частоты. Во избежание искажения изображения кривой на экране следует по возможности уменьшать напряжение на выходе генератора качающейся частоты, компенсируя это повышением усиления осциллографа.

Чтобы определить частотное положение характеристики на экране осциллографа, на нее наносят частотную метку. В простейшем случае это может быть сделано следующим образом. Параллельно выходу генератора качающейся частоты через сопротивление 200—300 *ом* присоединяется сигнал-генератор типа ГСС-17 или СГ-1. Частота появившейся на экране метки определяется по шкале сигнал-генератора. Некоторые же приборы, в том числе и ПНТ-2, имеют специальное устройство для частотной калибровки.

Как и в случае с радиоприемником, основное достоинство осциллографического метода получения частотной характеристики — наглядность и четкое, немедленное отражение на экране изменений, вызываемых регулировкой схемы.

21. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГЕТЕРОДИНА

Сигнал-генератор (типа ГСС-17 или СГ-1) присоединяют ко входу телевизора, устанавливают нормальную амплитудную модуляцию и медленно изменяют его частоту около значений несущих частот данного телевизионного канала. Ручка гетеродина телевизора при этом должна быть установлена в среднее положение. Когда в результате биений частоты сигнал-генератора и частоты гетеродина телевизора образуется промежуточная частота звукового сопровождения, в громкоговорителе телевизора будет слышен звук с частотой модуляции сигнал-генератора. При точной настройке поворот ручки гетеродина телевизора в любую сторону должен вызывать увеличение громкости звука в громкоговорителе.

При правильной регулировке гетеродина телевизора частота настроенного таким образом сигнал-генератора должна равняться частоте несущей звукового сопровождения данного телевизионного канала. Если этого не случилось, то прочитывают по шкале сигнал-генератора значение частоты на входе телевизора и прибавляют к ней значение промежуточной частоты канала звукового сопровождения. Сумма значений этих частот даст искомую частоту настройки гетеродина телевизора.

Промежуточную же частоту канала звукового сопровождения определяют по частотной характеристике этого каскада (см. § 13 и 14).

22. СНЯТИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Сигнал-генератор с нормальной модуляцией присоединяют к входу телевизора и настраивают на частоту несущей изображения данного телевизионного канала. В качестве индикатора выхода используют вольтметр переменного тока или осциллограф, подключая его между анодом выходной лампы видеоусилителя и шасси через конденсатор емкостью 1 000 *пф*.

Поддерживая выходное напряжение сигнал-генератора неизменным, изменяют его частоту в сторону увеличения с интервалами 500—1 000 *кгц* вплоть до несущей частоты звукового сопровождения, замечая при этом показания прибора на выходе видеоусилителя. По полученным результатам строят частотную характеристику усилителя высокой частоты.

23. ИЗМЕРЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕВИЗОРА ПО КАНАЛУ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Способ измерения чувствительности канала изображения в телевизорах с общим каналом изображения и звука и отдельными каналами различен. Рассмотрим сначала измерение чувствительности телевизора с раздельными каналами.

У супергетеродинного приемника перед измерением чувствительности гетеродин должен быть предварительно настроен для приема несущих изображения и звука. Это производится при помощи модулированного сигнал-генератора, настроенного на несущую звукового сопровождения данного телевизионного канала по минимуму звука в громкоговорителе (см. § 21). Затем частоту сигнал-генератора устанавливают равной несущей изображения. При этом сигнал-генератор соединяется со входом телевизора либо напрямую, если выходное сопротивление сигнал-генератора и сопротивление входа телевизора одинаковы (например, генератор СГ-1 может соединяться напрямую с телевизором, рассчитанным на входное сопротивление 75 *ом*), либо через согласующее устройство, схема которого показана на рис. 55.

Между анодом выходной лампы видеоусилителя и шасси через конденсатор емкостью 1 000 *пф* включают ламповый вольтметр и, регулируя выходное напряжение сигнал-генератора, доводят напряжение на выходе видео-

усилителя до 10 *в*. Регулятор контрастности телевизора при этом должен быть установлен в положение максимального усиления, а глубина модуляции сигнал-генератора должна быть равна 0,55

Чувствительность телевизора определится значением напряжения на выходе сигнал-генератора, деленным на коэффициент, учитывающий разницу между его выходным сопротивлением и входным сопротивлением телевизора. Так, при равенстве этих сопротивлений (75 *ом*) и трансформаторном входе телевизора (например, телевизор «Темп» или «Авангард») этот коэффициент равен 1. У телевизоров с апериодическим входом и входным сопротивлением 75 *ом* (КВН-49, Т-2 «Ленинград», «Север») коэффициент равен 2. Если же телевизор рассчитан на работу с симметричным кабелем КАТВ с волновым сопротивлением 300 *ом* (телевизоры с блоком ПТП-1), то коэффициент равен 6.

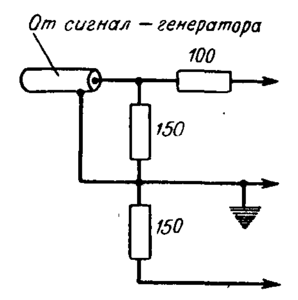


Рис. 55. Схема согласующего устройства для подключения сигнал-генератора к телевизору.

Для измерения чувствительности телевизора с общим каналом изображения и звука применяют два сигнал-генератора, включенных параллельно. В этом случае производится одновременно определение чувствительности телевизора для несущей изображения и несущей звукового сопровождения.

Вначале производится установка частоты гетеродина телевизора. Для этого один из сигнал-генераторов (будем считать его первым) настраивается на частоту несущей изображения данного телевизионного канала плюс 1*Мгц*. Частота его модулирована с глубиной 0,55. Ручку гетеродина телевизора вращают до тех пор, пока прибор на выходе видеоусилителя не покажет наибольшее отклонение (прибор включается так же, как описано выше). Регулируя выходное напряжение сигнал-генератора, доводят напряжение на выходе видеоусилителя до 8 *в*. Регулятор контрастности должен быть установлен на максимальное усиление.

После этого сигнал-генератор перестраивают на частоту несущей изображения, а ручку настройки гетеродина переводят в положение, при котором напряжение на выходе видеоусилителя станет равным половине прежнего,

т. е. 4 *в*. Такая настройка гетеродина означает, что частота несущей изображения приходится на уровне 0,5 частотной характеристики телевизора.

Далее, включают второй сигнал-генератор и настраивают его частоту (немодулированную) на несущую звукового сопровождения. При этом его выходное напряжение должно быть таким, чтобы напряжение на сопротивлении в цепи сетки лампы ограничителя было равно двойному напряжению порога ограничения.

После этого напряжение на выходе первого сигнал-генератора увеличивают настолько, чтобы напряжение на выходе видеоусилителя сделалось равным 8 *в*. Чувствительность телевизора по каналу изображения в этом случае определится величиной выходного напряжения первого сигнал-генератора, деленной на 4 (если соединение сигнал-генератора со входом телевизора произведено без всяких согласующих устройств, так как их сопротивления равны 75 *ом*). Чувствительность по каналу звука определится величиной выходного напряжения второго сигнал-генератора, деленной также на 4.

24. ПРОВЕРКА БЛОКА РАЗВЕРТКИ

Проверка работы генераторов развертки телевизора обычно производится во время приема телевизионной испытательной таблицы. При этом проверяются частота развертки, линейность, наличие геометрических искажений растра (искривление прямых вертикальных и горизонтальных линий).

Некоторые виды геометрических искажений показаны на рис. 56. Стороны и диагонали изображения телевизионной испытательной таблицы измеряют гибкой линейкой и определяют геометрические искажения в процентах по формулам:

Ромбическое искажение (рис. 56, *а*)

$$m_{р} = 2\frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} 100\%.$$

Бочкообразное искажение (рис. 56,*б*)

$$m_{б} = \frac{h}{l} \%.$$

Трапецеидальное искажение (рис. 56, *в* и *г*)

$$m_т = 2\,\frac{l_2 - l_1}{l_2 + l_1}\,100\%.$$

Подушкообразное искажение (рис. 56,*д*)

$$m_п = \frac{h}{l}\,100\%.$$

Допустимыми считаются геометрические искажения не более 2—3%.

Для определения нелинейных искажений измеряют гибкой линейкой горизонтальные стороны двух крайних

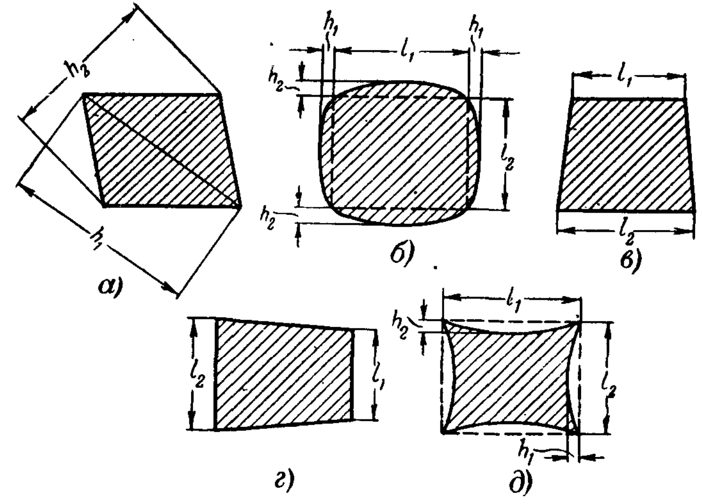


Рис. 56. Геометрические искажеиия растра телевизиоииой трубки.

а — ромбическое искажение; *б* — бочкообразиое искажение; *в* и *г* — трапецеидальные искажения; *д* — подушкообразное искажение.

квадратов слева (*а*), справа (*б*) и длину горизонтальных сторон двух квадратов в середине (*в*). После этого подсчитывают величины нелинейных искажений по горизонтали соответственно для левой и правой частей изображения таблицы:

$$n_л = \frac{a - b}{b}\,100\%;\quad n_п = \frac{б - в}{в}\,100\%.$$

Затем определяют величины нелинейных искажений по вертикали соответственно верхней и нижней частей изоб-

ражения, предварительно измерив вертикальные стороны двух крайних квадратов сверху (*г*), снизу (*д*) и квадратов в середине (*е*):

$$n_{в} = \frac{г - е}{е} 100\%; \quad n_{н} = \frac{д - е}{е} 100\%.$$

Максимально допустимые нелинейные искажения по горизонтали не должны превышать 15, а по вертикали 12%.

Если необходимо проверить развертки без приема испытательной телевизионной таблицы, то для определения геометрических искажений измеряют стороны и диагонали растра, а для определения частоты и линейности поступают следующим образом: на вход видеоусилителя от сигнал-генератора подают напряжение с частотой 100—200 *кгц* и амплитудой 0,5—1 *в*. При этом на экране трубки появятся вертикальные полосы, количество которых будет равно примерно $^{9}/_{10}$ отношения частоты сигнал-генератора к частоте генератора развертки строк.

В этом случае нелинейность развертки по строкам будет выражаться либо в постепенном уменьшении расстояния между полосами, либо в неодинаковой ширине полос на разных участках растра. Для определения нелинейности в первом случае измеряют расстояние между полосами слева (*а*) и справа (*б*) либо максимальное (*а*) и минимальное (*б*) расстояния между ними. Нелинейность подсчитывают по формуле

$$n = 2\frac{а - б}{а + б} 100\%.$$

Для определения частоты и нелинейности кадровой развертки на вход видеоусилителя подают напряжение с частотой 400 или 1 000 *гц* (от модулятора сигнал-генератора или звукового генератора). При частоте 400 *гц* на экране появляются 8, а при частоте 1 000 *гц* 20 полос при нормальной частоте развертки. Нелинейность развертки по кадрам подсчитывается по той же формуле, что и нелинейность по строкам.

1. Определение внутреннего сопротивления и тока полного отклонения стрелки прибора магнитоэлектрической системы

Для определения внутреннего сопротивления миллиамперметра необходимы свежий сухой элемент возможно большей емкости (с возможно меньшим внутренним сопротивлением) и два сопротивления: R_1 и R_2 точно известной величины. Составляется последовательная цепь из источника тока, сопротивления R_1 и измеряемого прибора. Сопротивление R_1 должно быть подобрано так, чтобы стрелка прибора отклонилась примерно на всю шкалу. Замечают это первое показание миллиамперметра I_1, а затем вместо сопротивления R_1 включают сопротивление R_2, величина которого подобрана так, чтобы стрелка миллиамперметра отклонилась меньше чем на половину шкалы. Замечают это второе показание миллиамперметра I_2.

Величина внутреннего сопротивления миллиамперметра определится по формуле

$$R_{вн} = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2},$$

где $R_{вн}$, R_1 и R_2 — сопротивления, *ом*;
I_1 и I_2 — токи, *ма*.

Для определения входного сопротивления вольтметра измеряют этим вольтметром напряжение какого-либо источника тока, например выпрямителя. Замечают показания вольтметра U_1, а затем между вольтметром и источником тока включают известное сопротивление R_1 и получают новое показание вольтметра U_2, причем надо так подобрать величину сопротивления R_1, чтобы U_2 было меньше половины номинала шкалы вольтметра.

Входное сопротивление вольтметра определится по формуле

$$R_{вх} = \frac{R_1 U_2}{U_1 - U_2},$$

где $R_{вх}$ и R_1 — сопротивления, *ком*;
U_1 и U_2 — напряжения, *в*.

Предел измерения по току магнитоэлектрического прибора вольтметра может быть найден по формуле

$$I_{пред} = \frac{U_{пред}}{R_{вх}},$$

где $I_{пред}$ — предельный ток, *ма*;
$U_{пред}$ — нормальное значение шкалы вольтметра, *в*;
$R_{вх}$ — входное сопротивление вольтметра, *ком*.

Отметим, что описанные способы определения внутреннего и входного сопротивлений не учитывают влияния внутреннего сопротивления источника измерительного тока. Поэтому погрешности при измерении указанными способами не будут превосходить 3—5% в том случае, если при измерении внутреннего сопротивления миллиамперметра ток полного отклонения его стрелки не будет превышать 10 *ма*, а измеряемое входное сопротивление вольтметра будет не менее 200 *ом/в*.

2. Измерение в децибелах

Децибел — логарифмическая единица. Появление ее вызвано тем, что при увеличении звукового давления, создаваемого источником звука, громкость звука увеличивается пропорционально логарифму отношения звуковых давлений, т. е. разница в громкости восприятия звука в децибелах составляет:

$$20 \lg \frac{p_2}{p_1}.$$

Если отношение p_2/p_1 больше единицы, т. е. если p_2 больше p_1 и громкость звука увеличивается, то число децибел положительно. Если же отношение меньше единицы (громкость уменьшается), то число децибел отрицательно.

Так как практически создаваемое громкоговорителем звуковое давление пропорционально напряжению, подводимому к громкоговорителю, то изменение громкости звука будет пропорционально логарифму отношении напряжений на громкоговорителе (на выходе усилителя низкой частоты или радиоприемника), т. е.

$$20 \lg \frac{U_2}{U_1}.$$

При этом считают, что на столько же децибел будут отличаться одно от другого и напряжения U_2 и U_1.

В децибелах можно производить оценку отношения величин электрических токов и мощностей:

$$20 \lg \frac{I_2}{I_1}; \quad 10 \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

Десятичный логарифм отношения сравниваемых напряжений, токов или мощностей может быть найден по специальным таблицам. Если же воспользоваться номограммой на рис. 57,*а*, то можно по отношению сравниваемых величин непосредственно определить их разницу в децибелах.

В децибелах можно не только сравнивать, но и определять абсолютные величины громкости звука и напряжения. За нулевой уровень громкости принят порог чувствительности уха на средних частотах 0,0002 *бар*, а за электрический нулевой уровень принято напряжение 0,775 *в*, выделяющееся на сопротивлении 600 *ом* при подведении к нему мощности 1 *мвт*.

Уровень громкости в децибелах определяется по формуле

$$20 \lg \frac{p}{0{,}0002} = 20 \lg 5\,000p,$$

а уровень напряжения в децибелах—по формуле

$$20 \lg \frac{U}{0{,}775}.$$

Эти уровни могут быть определены по номограммам на рис. 57,*б* и *в*.

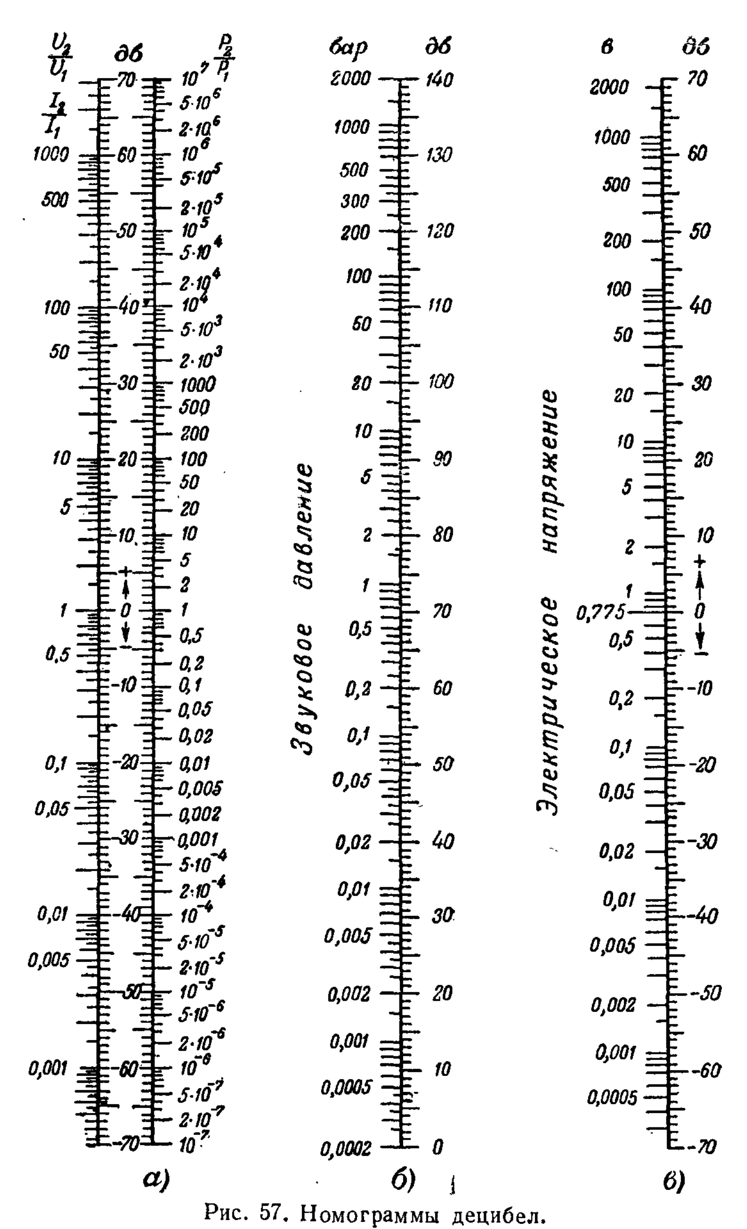


Рис. 57. Номограммы децибел.

а — разница в децибелах, определяемая отношением напряжений, токов и электрических мощностей; *б* — уровни громкости в децибелах; *в* — уровни электрических напряжений в децибелах.

3. Классы радиоприемников

Параметр	Класс приемника						
	Сетевые				Батарейные		
	1	2	3	4	2	3	4
Потребляемая мощность, не более, *вт*	Не нормирована				1,9	1,3	0,8
Коэффициент гармоник не более, %							
на частоте 50 *гц*	15	—	—	—	—	—	—
„ „ 80 „	—	15	—	—	—	—	—
„ „ до 100 *гц*	12	—	—	—	—	—	—
„ частотах 100—200 *гц*	7	10	—	—	10	—	—
„ „ 200—400 „	7	7	12	—	7	12	—
„ „ свыше 400 *гц*	5	7	10	×	7	10	×
Номинальная выходная мощность при указанном выше коэффициенте гармоник не менее, *ва*	4	1,5	0,5	×	0,15	—	×
Диапазон принимаемых частот:	×						
150—415 *кгц*		+	+	+	+	+	+
520—1 600 „		+	+	+	+	+	+
3,95—12,1 *Мгц*		+	Необязателен	—	+	Необязателен	—
Растянутые или полурастянутые (49, 41, 31 и 25 *м*)		+	—	—	+	—	—
Только несколько фиксированных настроек на длинных и средних волнах				Допускаются			Допускаются
Промежуточная частота:							
465±2 *кгц*	+	+	+	+	+	+	+
110—115 „	—	—	Допускается		—	Допускается	
Чувствительность при 30% модуляции, номинальной выходной мощ-							

ности и превышении сигнала над уровнем собственных шумов и фона не менее чем на 20 *дб*, не ниже, *мкв*:							
на длинных и средних волнах .	50	200	300	×	200	400	×
на коротких волнах	50	300	500	—	300	400	—
на фиксированных настройках .	200	—	—	—	—	—	—
Чувствительность с гнезд звукоснимателя (при номинальной выходной мощности) не менее, *в* . .	0,2	0,25	0,25	—	0,25	—	—
Ослабление приема при расстройке на ± 10 *кгц* (в случае переменной полосы пропускания указанные цифры соответствуют узкой полосе) не менее, *дб*	46	26	20	—	26	20	—
Ослабление приема по зеркальному каналу не менее, *дб*:							
на длинных волнах	60	36	26	×	36	26	×
„ средних „	50	30	20	×	30	20	×
„ коротких „	25	12	—	—	12	—	—
Ослабление приема сигнала с частотой, равной промежуточной, не менее, *дб*	40	34	20	×	34	20	—
Частотная характеристика всего тракта приемника должна обеспечивать пропускание полосы частот при неравномерности не более 18 *дб* на длинных волнах и не более 14 *дб* на остальных поддиапазонах не уже, *гц*	50—6 500	100—4 000	150—3 500	200—3 000	100—4 000	150—3 500	200—3 000
Уход частоты гетеродина от самопрогрева за 15 *мин* после 5-минутного прогрева не более, *кгц*:							
на частотах выше 15 *Мгц* . . .	4	—	—	—	—	—	—

Продолжение

Параметр	Класс приемника						
	Сетевые				Батарейные		
	1	2	3	4	2	3	4
на частотах 9—15 *Мгц*	3	6	12	—	3	—	—
» » 6—9 »	2	4	8	—	2	—	—
Действие АРУ:							
изменение напряжения на входе не менее, *дб*	60	26	26	—	26	26	—
при изменении напряжения на выходе не более, *дб*	12	8	10	—	8	10	—
Изменение громкости под действием ручного регулятора не менее *дб* .	50	40	40	—	40	40	—
Уровень фона при установке регулятора громкости на максимум не более (от номинальной мощности), *дб*	—46	—36	—26	—	—	—	—
Регулировка тембра:							
изменение уровня низших частот, *дб*	+4—6	—	—	—	—	—	—
изменение уровня высших частот, *дб*	±6	—6	—	—	—6	—	—

Обозначения:

— означает, что соответствующий параметр не нормирован по ГОСТ 5651-51 или соответствующий поддиапазон или устройство в приемник не вводится.

× означает, что соответствующий параметр оговаривается техническими условиями на тот или иной конкретный приемник.

+ означает наличие соответствующего поддиапазона или соответствующей промежуточной частоты.

4. Некоторая измерительная аппаратура промышленного изготовления

Ампервольтомметр ТТ-1

Предназначен для измерения постоянного тока до 500 *ма* на шести шкалах, постоянного и переменного напряжения до 1 000 *в*—на четырех шкалах и сопротивлений до 2 *Мом* — на пяти шкалах.

Погрешность при измерении постоянного тока и напряжения ±3%, при измерении переменного напряжения с частотой 50 *гц* ±4% и при измерении сопротивлений ±10% измеряемой величины.

Входное сопротивление прибора при измерении постоянного напряжения 5 000 *ом/в*.

Ампервольтомметр АВО-5М

Предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения до 6 000 *в* на семи шкалах, постоянного тока до 12 *а* — на семи шкалах, переменного тока до 12 *а* — на пяти шкалах и сопротивлений до 30 *Мом* — на трех шкалах.

Погрешность при измерении постоянного напряжения и постоянного тока ±3%, при измерении переменного напряжения и переменного тока ±5% при частоте 50 *гц* и нелинейных искажениях не более 5%, при измерении сопротивлений ±10% измеряемой величины.

Входное сопротивление прибора при измерении постоянного напряжения 20 000 *ом/в*, при измерении переменного напряжения 2 000 *ом/в*. Прибор имеет дополнительную градуировку в децибелах от —12 до +78 *дб* при нулевом уровне 0,775 *в* при нагрузке 6 *ком*.

Измеритель выхода ИВ-4

Представляет собой купроксный вольтметр для измерения переменного напряжения до 300 *в* на шести шкалах.

Погрешность измерений при частоте измеряемого напряжения 50 *гц* не превышает ±5%. Входное сопротивленяе на всех шкалах 20 *ком*.

Ламповый вольтметр ВКС-7Б

Предназначен для измерения переменного напряжения низкой и высокой частот до 150 *в* на пяти шкалах. К вольтметру прилагается внешний делитель напряжения ДНЕ-2, расширяющий верхний предел измерений до 10 *кв*.

Погрешность при измерении напряжения синусоидальной формы ±3%, с делителем ДНЕ-2 ±5%. Входное активное сопротивление на низких частотах 4 *Мом*, на частоте 10 *Мгц* 0,45 *Мом* и на частоте 50 *Мгц* 0,3 *Мом*. Входная емкость 7 *пф*.

Вольтметр ламповый универсальный ВЛУ-2

Предназначен для измерения постоянных и переменных напряжений до 150 *в* на пяти шкалах. К вольтметру прилагаются делители ДНЕ-6, ДНЕ-7 и ДНЕ-8, позволяющие расширить верхний предел измерений до 5—15 *кв*.

Погрешность при измерении постоянного и переменного напряжения низкой частоты ±2,5%, при измерении переменного напряжения с частотой до 100 *Мгц* ±3% и с частотой до 400 *Мгц* ±15%.

Входное сопротивление вольтметра при измерении постоянного напряжения не менее 25 *Мом*, при измерении на частоте 50 *гц* не менее 10 *Мом* и при измерении на частоте 100 *Мгц* не менее 50 *ком*. Для уменьшения входной емкости вольтметр снабжен двумя выносными пробниками с емкостями 7 и 3 *пф*.

Низкочастотный испытатель емкостей НИЕ-1

Предназначен для измерения емкостей конденсаторов в пределах 10 *пф* — 100 *мкф* на переменном (150—7 000 *гц*) или пульсирующем токе низкой частоты. Имеет шесть шкал.

Погрешность измерений не превышает ±10%.

Мегомметр МОМ-2

Предназначен для измерения высокоомных сопротивлений, сопротивления изоляции конденсаторов, кабелей, сопротивления изоляции обмоток трансформаторов и т. п. Пределы измерений 20 *ом*—10 000 *Мом* и погрешностью измерений не более ±1,5%.

Универсальный мост УМ-3

Предназначен для измерения сопротивлений на постоянном токе 0,1 *ом* — 5 *Мом*, индуктивностей 10 *мкгн* — 100 *гн*, на переменном токе с частотой 100 и 1 000 *гц*, емкостей 10 *пф* — 100 *мкф*, на переменном токе тех же частот, коэффициента добротности 0,1—500, тангенса угла потерь 10^{-3}—0,5.

Погрешность при измерениях сопротивления, емкости и индуктивности не более ±3%.

Измеритель добротности (куметр) КВ-1

Предназначен для определения параметров радиочастотных контуров, добротности катушек индуктивности и конденсаторов, индуктивности катушек, емкости конденсаторов, а также качества высокочастотных диэлектриков. Пределы измерений добротности 25—625, пределы измерений индуктивности 0,1 *мкгн* — 100 *мгн*, пределы изменений емкости переменного конденсатора в измерительном контуре 30—450 *пф*, погрешность градуировки шкалы переменного конденсатора не более ±1%.

Измерения производятся на частотах 50 *кгц* — 50 *Мгц*, перекрываемых семью поддиапазонами. Погрешность градуировки по частоте ±1%.

Погрешность измерения добротности ±5%, ±10%.

Измеритель добротности (куметр) УК-1

Применяется для измерения параметров радиочастотных контуров, а также для испытания качества диэлектриков. Пределы измерений добротности 80—1 200 при погрешности измерений не более ±10%. Измерения производятся на частотах 30—200 *Мгц*, перекрываемых тремя поддиапазонами. Погрешность градуировки частоты ±1%. Пределы изменений емкости конденсатора в измерительном контуре 13—65 *пф*. Точность градуировки шкалы этого конденсатора ±1%.

Осциллограф ЭО-5

Предназначен для исследования и регулировки различной радиоаппаратуры. Состоит из усилителя вертикального отклонения с полосой частот 10 *гц* — 200 *кгц*, чувствительностью 25 *мм/в*, входной емкостью

60 *пф* и входным сопротивлением 0,5 *Мом*; усилителя горизонтального отклонения с той же полосой частот, входной емкостью 50 *пф* и входным сопротивлением 0,5 *Мом;* генератора пилообразной развертки с диапазоном частот 2 *гц* — 200 *кгц*.

Осциллограф ЭО-6М

Предназначен для исследования непрерывных и импульсных электрических процессов с измерением длительности и амплитуды сигналов. Содержит усилитель вертикального отклонения с полосой частот 10 *гц* — 3 *Мгц* и чувствительностью 12 *мм/в,* усилитель горизонтального отклонения с полосой частот 10 *гц* — 1 500 *кгц*, генератор непрерывной развертки с диапазоном частот 2 *гц* — 200 *кгц* и генератор ждущей развертки с длительностями 2,5; 5; 25 и 250 *мксек,* усилитель синхронизации и генератор калибрационных меток с периодами следования 0,5; 1; 5 и 20 *мксек.*

Измерители нелинейных искажений ИНИ-10М и ИНИ-11

Предназначены для измерения коэффициента нелинейных искажений в диапазоне низких частот, а также для измерения уровня шумов и переменного напряжения.

Пределы измерений коэффициента нелинейности 0,3—30% на частотах 60, 100, 200, 400, 1 000, 5 000, 7 500, 10 000 и 15 000 *гц* для ИНИ-10М или в диапазоне 50 *гц* — 15 *кгц* для ИНИ-11. Погрешность не более 5—6% номинала шкалы.

Пределы измерений переменного напряжения и напряжения шумов 0,03—300 *в* в диапазоне частот 50 *гц* — 60 *кгц*; погрешность не более ±3%.

Генератор звуковой частоты ЗГ-2А

Предназначен для испытания низкочастотных усилителей и низкочастотных каскадов радиоприемников. Диапазон частот 20 *гц*—20 *кгц*; погрешность градуировки по частоте ±2% ±2 *гц*.

Максимальное напряжение на выходе не менее 150 *в*, минимальное — единицы милливольта. Максимальный коэффициент нелинейных искажений на частотах 100—400 *гц* не превышает ±2%. Максимальная выходная мощность 2 *вт* при сопротивлениях нагрузки 50, 500 и 5 000 *ом.*

Генератор стандартных сигналов ГСС-6

Применяется как источник радиочастоты при проверке и регулировке радиоаппаратуры.

Диапазон частот 100 *кгц* — 25 *Мгц*; погрешность градуировки по частоте ± 1%. Выходное напряжение 0,1 *мкв* — 1 *в*; точность установки ±10%.

Генератор может работать в режимах: непрерывной генерации; внутренней амплитудной модуляции синусоидальным напряжением с частотой 400 *гц* ±5% с глубиной модуляции 10—100% при коэффициенте нелинейных искажений не более ±5%; внешней амплитудной модуляции с частотами 50—8 000 *гц*.

Сигнал-генератор СГ-1

Является источником ультравысокой частоты.

Диапазон частот 13—330 *Мгц*; погрешность градуировки частоты ±2%. Выходное напряжение 0,4 *мкв* — 20 *мв* при погрешности, не зависящей от частоты, ± 25% для напряжений, бо́льших 40 *мкв*, и ± 40%

для напряжений, меньших 40 *мкв*. Погрешность, зависящая от частоты, до ±75%.

Генератор может работать в режимах: непрерывной генерации; внутренней амплитудной модуляции синусоидальным напряжением с частотой 1 000 *гц* ± 10% и коэффициентом глубины модуляции 10—60%; внешней амплитудной модуляции синусоидальным напряжением с частотой 100 *гц* — 20 *кгц*; внешней амплитудной модуляции импульсами длительностью 1—10 *мксек* при частотах следования 50 *гц*—10 *кгц*.

Кварцевый калибратор КК-6

Предназначен для проверки погрешности градуировки приемников, генераторов, измерителей частоты и т. п.

Калибратор имеет две основные частоты: 125 и 1 250 *кгц* и обеспечивает проверку градуировки в диапазоне 125 *кгц*—20 *Мгц*. Дает 80 гармоник от частоты 125 *кгц* и 16 гармоник от частоты 1 250 *кгц*. Погрешность по частоте ±0,01%.

Измеритель частоты ИЧ-6

Является электронным конденсаторным частотомером и служит для измерения частоты переменного тока в диапазоне 10 *гц* — 200 *кгц* с погрешностью ±1,5%.

Имеет внутренний калибровочный генератор с частотой 10 *кгц* ±0,5%.

Кварцевый гетеродинный волномер 528

Предназначен для проверки, градуировки и точной установки частоты радиоустройств, работающих незатухающими колебаниями.

Диапазон частот 125 *кгц* — 20 *Мгц*. Погрешность измерения по частоте не превышает в диапазоне 125—250 *кгц* 50 *гц* и 400 *гц* в диапазоне 2—4 *Мгц*.

Частота кварцевого генератора 1 *Мгц* ±10 *гц*.

Прибор для настройки телевизоров ПНТ-2

Предназначен для проверки и настройки телевизоров.

Диапазон частот и максимальная полоса качания 28—85 *Мгц* разбиты на пять поддиапазонов. Калибровка шкал через 1 *Мгц*.

Выходное напряжение 100 *мкв* — 75 *мв*. Сопротивление выхода 75 *ом*. Входная емкость детектора 8 *пф*.

Максимальный коэффициент паразитной амплитудной модуляции 20%.

Полоса пропускания усилителя осциллографа 10 *гц* — 150 *кгц*. Частота развертки 25, 500 *гц* и 5 *кгц* с плавной регулировкой в пределах ±50%.

Цена 3 руб.